

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

**Demonstrační soustava technologie elektronického řízení
vozidla (drive by wire)**

**Demonstration technology system of the car electronic
steering (drive by wire)**

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš Čerbák

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612R041 Řídicí a informační systémy

Téma:

**Demonstrační soustava technologie elektronického řízení vozidla
(drive by wire)
Demonstration Technology System of the Car Electronic Steering
(drive by wire)**

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou "drive by wire", návrhem a realizací elektrických pohonů, topologií řídicích systémů a jejich řízením.
2. Návrh a realizace soustavy pohonu a řídicího systému jednotky "drive by wire" experimentálního elektromobilu KAIPAN VoltAge.
3. Sestavení soustavy, návrh a realizace experimentů, které prokážou využitelnost soustavy pro instalaci a dlouhodobý testovací provoz v elektromobilu, pro výukové a demonstrační účely.
4. Vytvoření konstrukční a výrobní dokumentace realizované soustavy.
5. Zhodnocení výsledků řešení a experimentů.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ZEHNULA, Karel. *Snímače neelektrických veličin*. 2. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983, 371 s.
- [2] MAXON. *Maxon DC motor*. [s.l.]:Maxon, c2010.
- [3] ROUBÍČEK, Ota. *Elektrické motory a pohony*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 191 s. ISBN 80-730-0092-X.
- [4] CHLEBIŠ, Petr. *Výkonová elektronika I*. Vyd. 1.. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007 - 1 elektronický optický disk (CD-R) : barev. ISBN 978-80-248-1485-8 (CD-R).

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Bohumil Horák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2015

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal“

Tomáš Čerbák

Tomáš Čerbák

Datum odevzdání bakalářské práce: 07.05.2015

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Bohumilu Horákovi, Ph.D. za rady a připomínky spojené s vypracováním zadaného úkolu. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Davidu Valovi, Ing. Kristýně Friedrischkové a Ing. Vítu Otevřelovi za odbornou pomoc při tvorbě elektrických komponent. Můj dík také patří Ing. Janu Pokornému, Ph.D. z Univerzity Pardubice za konzultaci a ukázku technologie drive by wire. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Václavu Čerbákovi, Ing. Pavlu Plachkému a Ing. Matěji Glogarovi za rady a konzultace elektro a strojních úkolů při realizaci mé bakalářské práce.

Abstarkt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou řízení přední nápravy automobilu pomocí technologie drive-by-wire. Práce řeší kompletní problematiku technologie drive-by-wire pro elektromobil KAIPAN VoltAge. Na elektromobilu KAIPAN VoltAge byly prováděny všechny experimentální měření. Jedná se o demonstrační úlohu, která má otestovat funkčnost a možnost využití v praxi. Pro montáž a provedení testů funkčnosti soustavy se využil model, který je sestaven s dílů KAIPAN VoltAge.

Klíčová slova

Drive by wire, stee by wire, řídicí soustava, soustava řízení směru jízdy elektromobilu, řízení vozidla, KAIPAN VoltAge

Abstract

This Bachelor Thesis is concerned with the car using technology drive-by-wire. This thesis looks for a solution to complete issues of technology drive-by-wire for electric car KAIPAN VoltAge. On this electric car were conducted all experimental measurements. This work is a demonstration task, which is to demonstrate the functionality and the ability to use in practice. For mounting and functional testing of the system was used a model, which was assembled from parts of KAIPAN VoltAge.

Key Words

Drive by wire, stee by wire, control systems, systems management direction electric car, driving, KAIPAN Voltage

Seznam použitých zkratek a symbolů

ESP – Systém jízdní stability

ECU - Electronic Control Unit je vestavěný počítač pro řízení automobilových systémů

SDE – sériové rozhraní pro průmyslové aplikace

SSI - Serial Synchronous Interface - sériové rozhraní pro průmyslové aplikace

TWI - sériové rozhraní pro průmyslové aplikace

UVW - sériové rozhraní pro průmyslové aplikace

PWM – Pulzně šířková modulace

LED – Light Emitting Diode – Svítivá dioda

PLC – Programovatelný logický automat

A/D – Analogově digitální převodník

EEPROM - Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – Elektronicky mazatelná paměť

SRAM - Static Random Access Memory statická paměť

JTAG - Joint Test Action Group – Architektura pro testování plošných spojů

USART - Universal Synchronous / Asynchronous Receiver and Transmitter - Synchronní / asynchronní sériové rozhraní

ADC - Analogově digitální převodník

AVR – Označení pro mikročip Atmel

CPU - Centrální procesorová jednotka

SMD - surface mount technology – Postup pájení přímo na desku plošného spoje

Obsah

| | |
|---|----|
| 1. Úvod..... | 1 |
| 2. Seznámení se s problematikami | 2 |
| 2.1. Drive by wire..... | 2 |
| 2.2. Steer-by-wire..... | 3 |
| 2.3. Elektrické pohony | 4 |
| 2.4. Řídicí systémy | 5 |
| 3. Návrh a realizace soustavy pohonu | 6 |
| 3.1. Stávající řízení KAIPAN VoltAge | 6 |
| 3.2. Měření | 7 |
| 3.2.1. Měření síly na řídicí soustavě vozidla | 7 |
| 3.2.2. Měření dynamiky motoru řízení..... | 9 |
| 3.3. Návrh řešení | 17 |
| 3.4. Výběr snímače natočení | 18 |
| 3.4.1. Optické úhlové snímače | 18 |
| 3.4.2. Magnetické úhlové snímače | 20 |
| 3.4.3. Potenciometrové úhlové snímače | 22 |
| 3.4.4. Lankové snímače..... | 24 |
| 3.4.5. Vybraný snímač natočení | 24 |
| 3.5. Řídicí jednotka | 27 |
| 3.6. Výběr pohonu..... | 29 |
| 3.6.1. Vybrané typy motorů | 30 |
| 3.6.2. Vybrané typy převodu..... | 32 |
| 3.6.3. Vybraný pohon..... | 33 |
| 3.7. Řízení pohonu | 35 |
| 3.8. Koncepce řešení | 37 |
| 4. Sestavení soustavy..... | 38 |
| 4.1. Řídicí jednotka | 39 |
| 4.2. Snímače | 47 |
| 4.2.1. Uchycení snímače volantu..... | 50 |
| 4.2.2. Uchycení snímače kol | 52 |
| 4.3. Pohon..... | 53 |
| 4.3.1. Řízení pohonu | 54 |

| | | |
|--------|--|----|
| 4.3.2. | Mechanické spojení pohonu | 56 |
| 4.4. | Demonstrační soustava steer by wire | 60 |
| 5. | Návrh a realizace experimentů | 61 |
| 6. | Zhodnocení výsledků řešení a experimentů | 71 |
| 6.1. | Zhodnocení výsledků řešení | 71 |
| 6.2. | Zhodnocení experimentů | 76 |
| 7. | Závěr | 78 |
| 8. | Použitá literatura | 80 |
| 9. | Přílohy | 82 |

1. Úvod

Drive by wire je v dnešní době velmi žádaný systém, používaný v mnoha odvětvích. V letadlech se již zcela běžně používá fly by wire. Proto i automobilový průmysl přechází na tento způsob řízení.

V této bakalářské práci se řeší demonstrační soustava drive by wire přesněji jeho odvětví steere by wire. Tento systém umožňuje oddělit mechanickou vazbu řízení natočení kol od samotné nápravy, proto je řízení komfortnější.

Celý systém je testován a vyvíjen pro vozidlo KAIPAN VoltAge, s řízením přední nápravy Škoda Favorit. Pro sestavení demonstrační soustavy jsou použity originální díly Škoda. Přesněji přední náprava Škoda Favorit a Volantová soustava Škoda Octavia.

Pro zjištění přesných hodnot potřebných ke správnému nadimenzování a funkčnosti soustavy v praxi jsou veškerá měření prováděna na plně funkčním vozidle KAIPAN VoltAge. Jedná se především o měření související s návrhem motoru pro pohon natáčení přední nápravy. U tohoto návrhu je velmi důležité znát potřebný moment a sílu pohonu, který nahrazuje stávající volantovou tyč. Tyto veličiny se mění v závislosti především na hmotnosti a rychlosti vozidla.

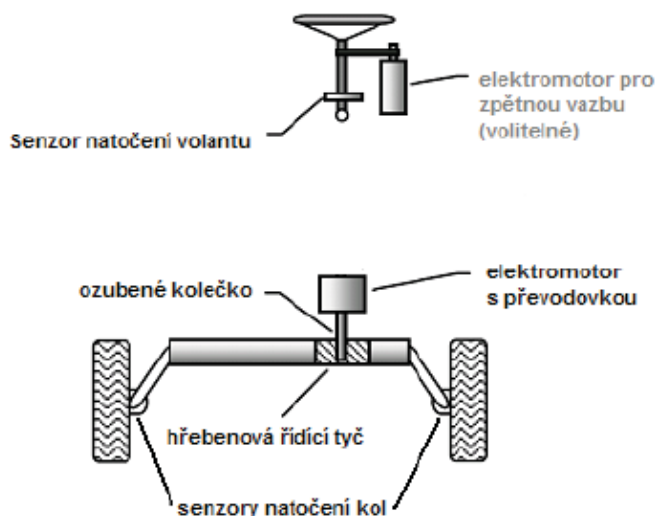
Celá demonstrační soustava je navržena tak, aby bylo možné jednotlivé komponenty snadno nainstalovat do vozidla. Je navržena jako dva základní celky a to řídící část (volant včetně snímače jeho polohy) a část řízená (přední náprava včetně pohonu a snímače jejího natočení).

Tato bakalářská práce ovšem neřeší safety řešení, ale pouze prokazuje schopnost a možnost využití a implementace systému steere by wire v praxi. Vozidlo s tímto systémem nesplňuje bezpečnostní požadavky pro vozidla, a to jak technické, tak i legislativní, proto může sloužit pouze k demonstraci systému po zajištěných prostorech.

2. Seznámení se s problematikami

2.1. Drive by wire

Při elektronickém řízení je zrušena pevná vazba mezi volantem a koly. Na volant je připevněn snímač natočení, který snímá informaci o poloze natočení volantu, tj. o požadovaném natočení kol. Řídící jednotka tento údaj přijme a za pomoci pohonu, který je tvořen motorem a převodovkou, natočí kola řízené nápravy. Pro zpětnou vazbu z kol k volantu je k volantu připojen elektromotor, který zajišťuje odpor otáčení volantu a také vrácení volantu do původní polohy jakou zajišťuje geometrie kol u běžné mechanické vazby. Tento motor lze nahradit také pružinou, která bude volant vracet. [1][2]



Obr.2.1.1: Řízení pomocí drive-by-wire [3]

Při použití technologie drive-by-wire odpadá spousta komplikací při návrhu podvozku. Například geometrie řízené nápravy, která zajišťuje vrácení kol a volantu do původní polohy, tj. do přímého směru jízdy automobilu. Také je maximálně zamezeno zpětným rázům od kol k volantu. Dále není za potřebí tyč řízení, která má několik křížových kloubů. Nastavení pozice volantu je také podstatně jednodušší, protože je propojena pouze několika vodiči. Rovněž odpadá nutnost nastavování odporu volantu (Feedback), kde u běžných aut je zapotřebí, aby posilovač řízení postupně snižoval svůj zásah, až po vyšší rychlosti, kde nezasahuje vůbec. Vliv posilovače je síla vnímána jako zpětná síla na volant. Při použití tohoto systému je tato síla libovolně nastavitelná. [2][3]

2.2.Steer-by-wire

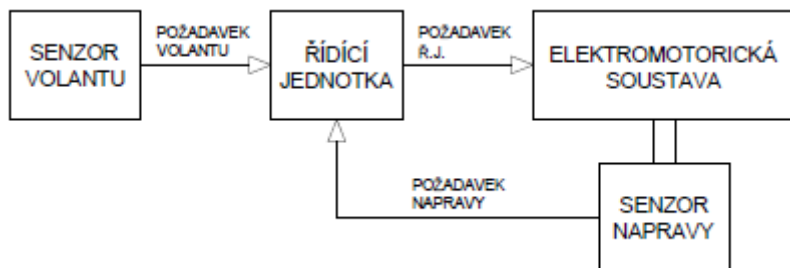
Doslovný překlad je řízení po drátech, což spadá do skupiny metod x-by-wire. Zmíněné metody se všeobecně zabývají doplněním či nahrazením mechanických prvků za prvky elektronické a elektromechanické. Řízení po drátech spočívá v odstranění mechanické vazby mezi volantem a řízenou nápravou. V letectví se již několik let používá metoda fly-by-wire. Zavedením se odstranilo mnoho komplikací jak z pohledu návrhu letadel, tak i v běžném leteckém provozu. Zejména nižší poruchovost a větší bezpečnost. [1][2]

Celá skupina drive-by-wire zahrnuje tři systémy řízení. Steer-by-wire zajišťuje přenos úhlu natočení nápravy ovládaný natočením volantu. Brake-by-wire je systém zahrnující brzdou soustavu bez přítomnosti centrálních brzdných okruhů. Drive-by-wire zajišťuje stabilizaci podvozku a kooperaci s předchozími dvěma metodami. [1][2]

Řízení vozidla bez klasických hydraulicko-mechanických vazeb je jednou z dalších výhod, které lze využít v případě zástavby elektromotorů do nábojů kol. Elektromotory primárně slouží k pohonu vozidla, avšak také by mohly sloužit i k jeho řízení. Elektronický přenos energie by tedy nahradil hřídel volantu, převodovku řízení, posilovač řízení a všechny klasické mechanické vazby mezi řízením a řízením v závěsech kola. Jedna z výhod by mohla být i nastavitelná charakteristika řízení (tužší při sportovní jízdě, lehčí při parkování) dle požadavků řidiče nebo automaticky, největší výhodou se v současné době zdá možnost využití regulace natočení kol systémem jízdní stability ESP. Řízení po drátě Steer-by-Wire by dokázalo přesnější a přinejmenším stejně rychlé korigovat řízení za účelem zajištění stability jízdy. V případě elektronického řízení vozidla by bylo možno kompenzovat popsany nežádoucí efekt tak, že by po rychlém náběhu brzdného tlaku následovala elektronická korekce řízení působící proti směru vznikajícího smyku. Stejně dobře by mohlo elektronické řízení zasáhnout při směrové odchylce v důsledku silného bočního větru nebo při vybočování přívěsu apod. Především přetáčivý smyk je pro běžné uživatele velmi zákeřný a právě rychlá korekce natočení kol proti směru vybočení žádě je velmi účinným řešením. Problémem který zatím brání tomuto přístupu je však především bezpečnost, která se však dá spolehlivě řešit vícenásobným zálohováním (i například záložním zdrojem energie – akumulátorem) a možná i jistá nedůvěra zákazníků. [1][2]

Aplikace elektronických systémů pro řízení vozidla přináší mnoho výhod. V první řadě tak lze propojit řízení se systémem elektronické stabilizace (ESP). Spolupráce elektronické řídicí jednotky systému (ECU) se senzory rychlosti, otáček kol, stáčení vozidla aj. pak umožňuje včasnou optimalizaci jízdní stability. Další výhodou je možnost variabilního převodu řízení při různých rychlostech a jízdních podmínkách.

[4]



Obr.2.2.1: Blokové schéma řízení pomocí steer-by-wire

2.3. Elektrické pohony

Elektrický pohon je soubor elektromechanických vazeb a vztahů mezi pracovním mechanismem a elektromechanickou soustavou. [5]

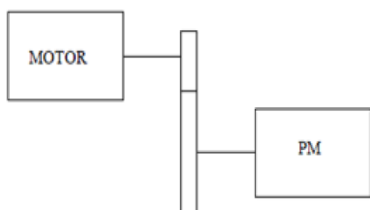
Elektropohon

- proveditelný pro široký rozsah momentů a otáček
- přizpůsobitelný různým vnějším podmínkám
- není zdrojem zplodin
- má nízkou úroveň hluku
- je prakticky okamžitě provozuschopný, jednoduchá údržba a obsluha
- snadná říditelnost a ovladatelnost
- nízké ztráty naprázdno, vysoká účinnost a vysoká krátkodobá přetížitelnost
- může pracovat ve všech čtyřech kvadrantech n-M diagramu. Velmi výhodné je jeho možné rekuperační brzdění
- symetrický tvar rotoru elektromotoru a proto není příčinou vzniku pulzačních momentů a tedy i vibrací
- dlouhá životnost (20 a více let)
- jednoduše konstrukčně přizpůsobitelný zátěži

[5]

Převody v pohonech

Převody na pohonech se používají z důvodu přizpůsobení pohonu požadavkům řízené soustavy. Ve většině případů má motor podstatně vyšší otáčky, než jsou požadovány. Proto jsou používány převodovky, které zajistí snížení výstupních otáček pohonu a zvýšení výstupního momentu.



Obr.2.3.1: Pohon s převodem [5]

Redukci momentu zatížení M_{PM} na hřídel motoru s rychlostí ω , pak vyjdeme z výkonové rovnováhy.

$$M_{PM} \cdot \omega_{PM} = M_{\omega}$$

Moment redukováný na hřídel motoru

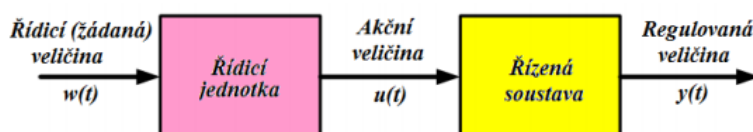
$$M_{Red} = M_{PM} \cdot \frac{\omega_{PM}}{\omega} = M_{PM} \cdot \frac{1}{i}$$

i ... převodový poměr

Tento vztah platí pouze pro bezeztrátový převod. Ve skutečnosti je tento redukovaný moment nutno podělit účinností převodovky, případně vynásobit, pokud jde o spouštění břemene u pohonu s potenciálním zatěžovacím momentem. [5]

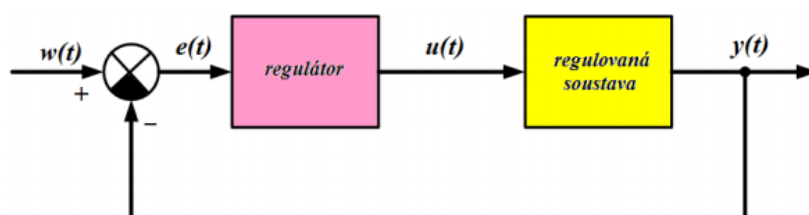
2.4.Řídicí systémy

Řízení je proces, ve kterém je řízené zařízení ovlivňováno řídicími signály. Řízení bez zpětné vazby je charakterizováno jednosměrností řídicích signálů. Signály řídicí jednotky působí na stroj nebo zařízení, aniž by byly průběžně opravovány podle stavu řízeného procesu. [6]



Obr.2.4.1: Řídicí systém bez zpětné vazby [7]

Pro přesnější řízení je využívána zpětná vazba, kdy řídicí jednotka je informována o stavu řízené soustavy. Na základě zpětné vazby koriguje akční veličinu.



Obr.2.4.2: Zpětnovazebný řídicí systém [7]

Regulace

Regulace je proces, který udržuje fyzikální veličinu na požadované hodnotě nebo v požadovaných mezích, stabilizuje tuto veličinu. Regulátory se v některých aplikacích nazývají také stabilizátory. Rozlišuje se regulace nastavení na pevnou hodnotu a regulace nastavení na proměnnou hodnotu. [6]

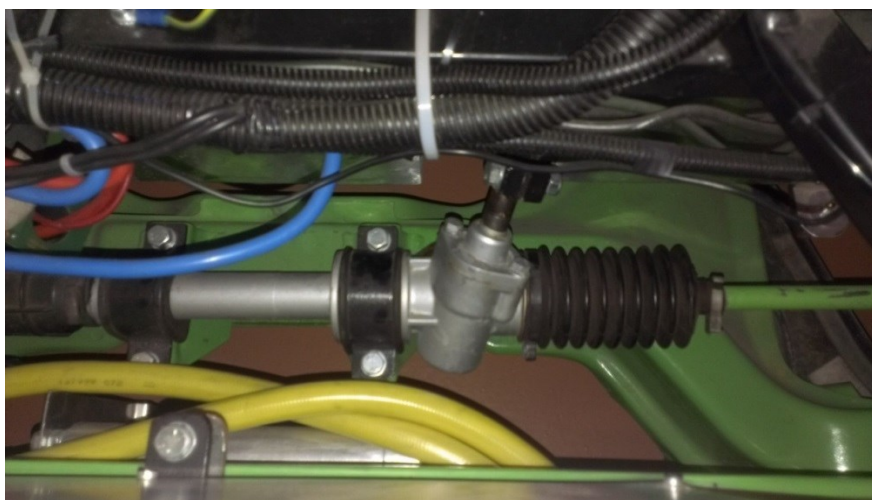
3. Návrh a realizace soustavy pohonu

3.1. Stávající řízení KAIPAN VoltAge

Stávající řízení na KAIPAN VoltAge je použito z automobilu Škoda Favorit. Je zde použita volantová tyč se dvěma křížovými klouby. Tyč je napojena na převodovku řízení. Na této soustavě byla prováděna všechna experimentální měření a zkoušky, proto i při realizaci steer-by-wire bude převodovka řízení zachována. Spojení s koly zajišťuje přední náprava, která je pevně spojena s převodovkou řízení.



Obr.3.1.1, 2, 3: Stávající řízení na KAIPAN VoltAge



Obr.3.1.4: Převodovka řízení

3.2. Měření

Viz příloha Měření síly motoru na řídicí soustavě vozidla

Ke správnému dimenzování motoru natáčení kol bylo nutné provést výchozí měření na stávající mechanické sestavě přední nápravy. Výchozím měřením byly zjištěny potřebné síly a dynamika pro výpočet parametrů motoru. Tyto dvě měření síly a dynamiky pomohou správnému stanovení pohonu s potřebnými výstupními parametry pro dostatečně rychlé a silné řízení, a také dává veškeré podklady k sestavení demonstrační soustavy, na které se prokazuje funkčnost systému.

3.2.1. Měření síly na řídicí soustavě vozidla

Měření síly potřebné k natočení kol vozidla. Měření se provádělo na volantové tyči tak, že přes střed volantu byla upevněná pomocná tyč, na kterou se připevnila pružina. Na tuto pružinu působila síla potřebná k otočení kol. Při natáčení kol se změnilo natažení pružiny. Z prodloužení pružiny se následně stanovila potřebná síla k natočení kol. Měření byla opakována desetkrát pro tři délky páky pro přesnější výsledek. Měření byla provedena nejdříve pro automobil v klidu a následně pro automobil v pohybu.

Při měření musíme vzít v úvahu, že pružina nebyla vždy úplně kolmo k ose rotace, čímž docházelo ke zkreslení hodnot. Dále je velmi důležité započítat páku, která vznikla při upevnění tyče na volant. Délka páky byla volena postupně 100mm, 150mm a 300mm.

Měření bylo provedeno při stojícím automobilu a při rychlosti automobilu cca 0,44 m/s. Z měření bylo zjištěno, že čím je rychlost vozidla vyšší, tím menší síla je vynakládána na řízení.

Protože naměřené hodnoty budou používány v jediném místě a to na přírubě převodovky řízení, je nutné délku páky přepočítat pro jednotný průměr hřídele 15,3 mm, tedy páku 7,65 mm.

Tab.3.2.1.1: Hodnoty pro elektromobil při rychlosti jízdy 0 m/s

| Natažení pružiny v cm | | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Pro páku 100mm [cm] | Pro páku 150mm [cm] | Pro páku 200mm [cm] |
| 67 | 48 | 39,5 |
| 67,5 | 48,5 | 41 |
| 69 | 47,5 | 41 |
| 68 | 50 | 41,5 |
| 66 | 50 | 39,5 |
| 66,5 | 50 | 40 |
| 67,5 | 49 | 40,5 |
| 68 | 50 | 41 |
| 67 | 48,5 | 39,5 |
| 68 | 49 | 40,5 |
| 67,45 | 49,05 | 40,4 |
| Přepočet na jednotnou páku 150mm [cm] | | |
| 45 | 49,05 | 53,87 |
| Průměr [cm] | 49,31 | |

Tab.3.2.1.2: Hodnoty pro automobil 0,44 m/s:

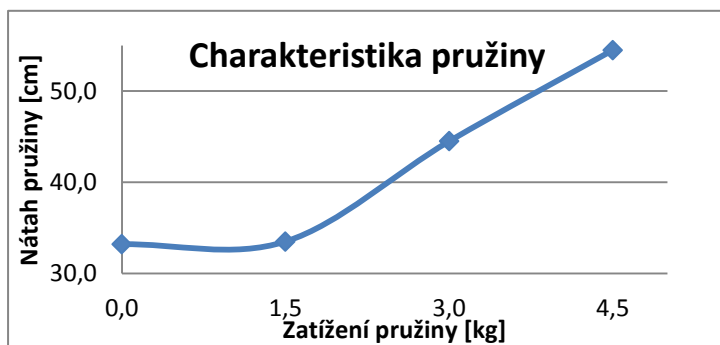
| Číslo testu: | Natažení pružiny v cm při páce 100mm |
|--------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 47 |
| 2 | 45 |
| 3 | 45 |
| 4 | 43 |
| 5 | 42 |
| 6 | 41 |
| 7 | 42 |
| 8 | 41 |
| 9 | 41 |
| 10 | 44 |
| Průměrná hodnota: | 43,1 |

Z tohoto měření vyplynulo, že pro dimenzování motoru musíme použít hodnoty pro největší zatížení, což jsou hodnoty naměřené u stojícího automobilu.

Pro zjištění potřebné síly, se změřila pružina při různém zatížení a tím byly zjištěny parametry dané pružiny.

Tab.3.2.1.3: Průběh pružiny

| Zátěž na pružině v kg: | Natažení pružiny v cm: |
|------------------------|------------------------|
| 0 | 33,2 |
| 1,5 | 33,5 |
| 3 | 44,5 |
| 4,5 | 54,5 |



Obr.3.2.1.1: Graf zatížení pružiny

Parametry pružiny:

Počet závitů: 207
Stažená délka: 33.2cm

Na základě charakteristiky pružiny a naměřené průměrné hodnoty natažení pružiny je stanovena síla k natočení kol 710,7N.

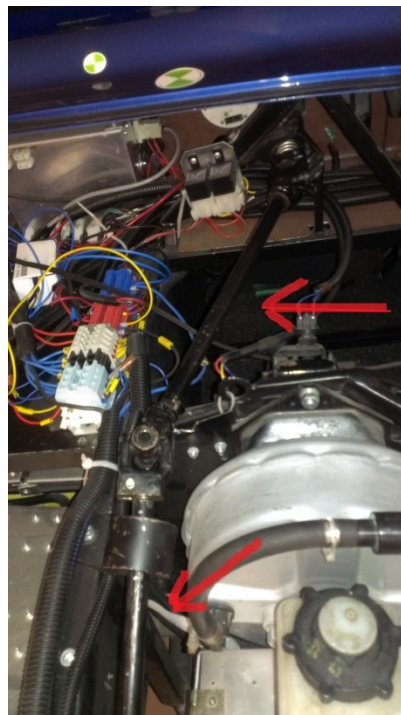
3.2.2. Měření dynamiky motoru řízení

Viz příloha Měření dynamiky motoru na řídicí soustavě vozidla

Měření dynamiky motoru řízení. Měření je možno provádět několika způsoby. Měřit všemi možnostmi by bylo zbytečné a velmi zdlouhavé, proto byly vybrány pouze nejvhodnější způsoby.



Obr.3.2.2.1: Motor a řízení KAIPAN VoltAge



Obr.3.2.2.2: Řídicí tyč KAIPAN VoltAge

a) Měření lineárním magnetickým snímačem polohy

U tohoto způsobu měření připevníme na hřídel řízení redukcí na uložení magnetického pásu. Nejvhodnější uložení je na přírubě převodovky, která je uložena pevně, takže se minimalizují otřesy na hřídeli.

Princip snímače:

Snímací hlava snímače je uložena nad magnetickým páskem, který rotuje na kotouči uloženém na přírubě převodovky. Snímač zaznamenává změny polarit magnetu na magnetickém pásku a tím snímá pulsy. Jednotlivé pulzy odpovídají stupni natočení soustavy, v závislosti na časovém úseku je možno určit rychlost natočení soustavy.

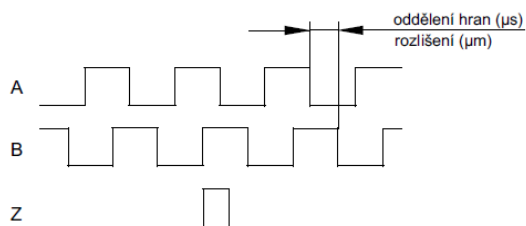
Zvolený magnetický pásek:

Renishaw MS10B0100B0000 - Magnetic Linear Encoder Tape Scale 1 Meter

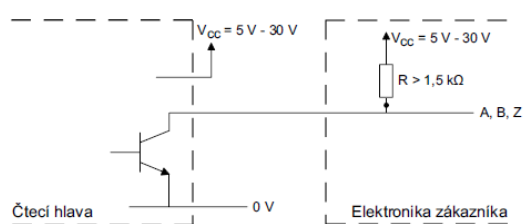
Zvolené čidlo:

RLS - Lineární magnetický snímač polohy LM10 – LM10IB050AA50F00

Zařízení LM10 je bezkontaktní, vysokorychlostní, lineární magnetický snímač polohy navržený pro použití v náročném prostředí. Snímač LM10 se vyznačuje kompaktní uzavřenou čtecí hlavou, která se pohybuje ve vzdálenosti až 1,5 mm nad nalepovací magnetickou stupnicí po dráze dlouhé až 100 m. Montáž snímače je provedena jednoduše nalepením. M10 se vyznačuje nastavovací LED diodou zabudovanou do čtecí hlavy, rozsáhlými montážními tolerancemi a aplikátorem lepicí magnetické stupnice. Zařízení je vybaveno obousměrnou referencí, kterou lze aktivovat buď pomocí předem nastavené značky začleněné do stupnice, nebo přidáním referenční nálepky na horní plochu stupnice pomocí samo stavitelného montážního nástroje. Magnetické snímače jsou dodávány v provedení s digitálním nebo analogovým výstupem. Je na výběr z rozlišení 1 μm , 2 μm , 5 μm , 10 μm , 20 μm nebo 50 μm . Rychlost snímání snímače LM10 je až 25 m/s a při rozlišení 1 μm je schopen snímat dokonce i při rychlosti 4 m/s. Robustní lineární magnetické snímače polohy LM10 jsou navrženy pro velmi náročný provoz v teplotním rozmezí -20 °C až +85 °C. Jejich stupeň krytí proti vniknutí vody je IP68 a jsou velmi odolné proti nárazům, vibracím a tlaku. Robustní magnetická stupnice je odolná vůči celé řadě chemických látek, běžně se vyskytujících v průmyslu. Bezkontaktní konstrukce eliminuje vliv tření, zabraňuje opotřebení a současně snižuje hysterezi, takže zařízení je přesné i při vysokých rychlostech a zrychleních.[8]



Obr.3.2.2.3: Časový diagram [8]

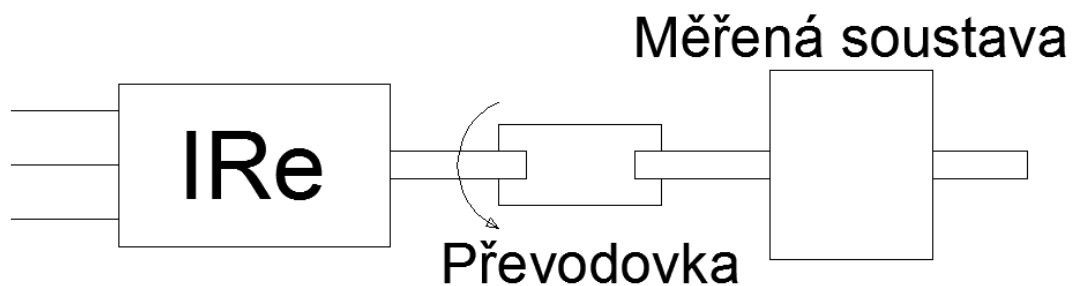


Obr.3.2.2.4: Doporučené připojení signálu [8]



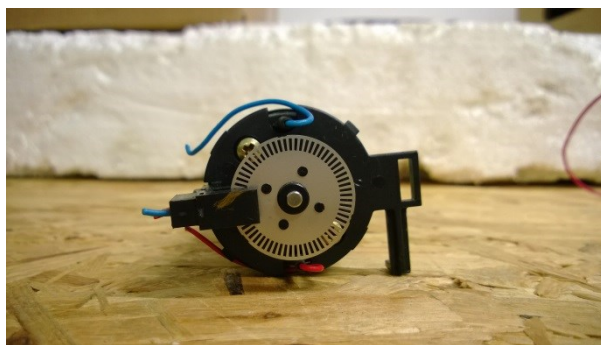
Obr.3.2.2.5, 6: Snímač LM10

b) Měření inkrementálním snímačem



Obr.3.2.2.7: Blokové schéma měření inkrementálním snímačem

Inkrementální čidlo je nejvhodnější připojit na přírubu převodovky, protože zde nedochází k takovým otřesům jako přímo na řídicí tyči. Uvedený snímač je odolný mírným otřesům a vibracím, ale vždy je lepší předcházet případným chybám.



Obr.3.2.2.8, 9: Použité inkrementální čidlo



Obr.3.2.2.10: Inkrementální čidlo používané ve Škoda Fabia

Inkrementální čidlo je pro naše řešení připojeno k měřené soustavě přes převodovku. Jako nejvhodnější převodovka v tomto případě se jeví mechanická převodovka dvou ozubených kol s převodovým poměrem 1:1. Použije se elektronické inkrementální čidlo jehož výstupní impulzy jsou zaznamenávány v čase.

Při takovém převodu, musíme brát v úvahu, že hřídele se budou točit proti sobě. Takže posunutí výstupních pulsů bude posunuto opačně. Při měření tohoto experimentu je však zanedbatelné jestli točíme vpravo nebo vlevo, takže je tento převod vhodný.

Uložení převodovky je nejvhodnější na tyč řízení, co nejblíže kloubu, protože kloub má pevné uchycení a proto zde dochází k nejmenším kmitům hřídele.

c) Měření pomocí magnetu uvnitř volantové tyče

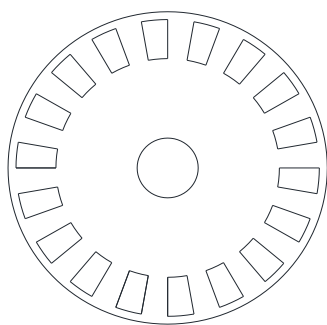
V tomto návrhu využijeme magnetu, který má podélné póly a tím docílíme měřitelné použitelnosti.

Magnet umístíme do navrtaného otvoru do řídicí tyče. Nejvhodnější umístění je poblíž volantu. Má to výhodu v dostupnosti a také v pevnosti uložení, kde nedochází k tak velkým otřesům jako níže na hřídeli.

Nad magnet se umístí senzor, který snímá překlápění severního a jižního pólu a zaznamenává pulsy v čase. Nejvhodnější je použití Hallovy sondy.

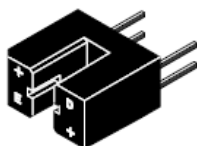
d) Měření pomocí optického senzoru

V tomto měření se na přírubu převodovky připevní clonka z neprůsvitného materiálu. Mnou použitá clonka má 18 plných a 18 prázdných polí, což znamená, že má 36 částí a tím je usnadněn převod na stupně, protože každý dílek odpovídá 10° .

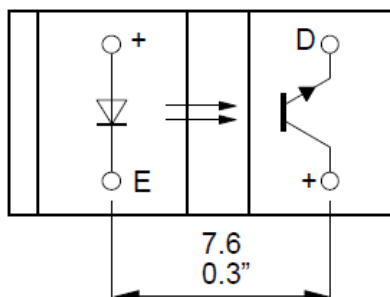


Obr.3.2.2.11, 12: Clonka

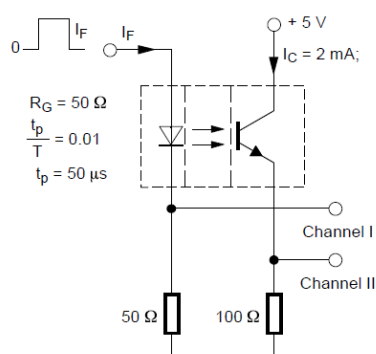
K této clonce je připevněná optická závora tak, aby při otočení stínily a propouštěly jednotlivé body. Tím vznikají pulsy o různých časových intervalech. Pro změření maximální dynamiky je nejdůležitější puls o nejkratším časovém intervalu. Pro toto měření byla vybrána optická závora TCST110, která je vhodná z několika hledisek. Velmi nízká cena a snadné připojení k osciloskopu, takže zobrazení doby pulsů je jednoduché a velmi přesné.



Obr. 3.2.2.13: TCST110 [9]



Obr. 3.2.2.14: Vnitřní zapojení TCST110 [9]

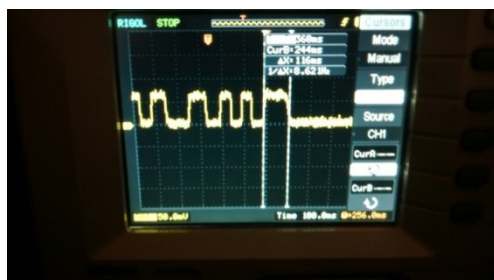


Obr. 3.2.2.15: Zapojení TCST110 [9]

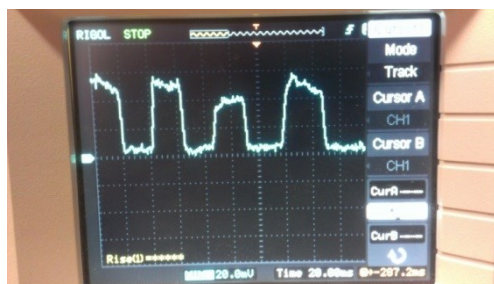


Obr. 3.2.2.16: TCST110

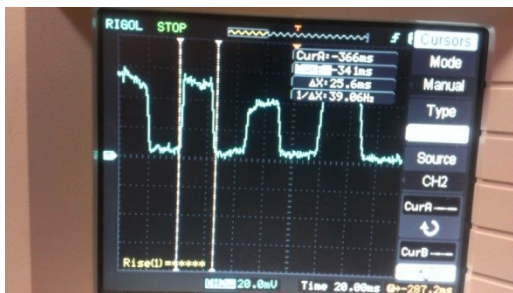
Při měření se zaznamenávaly pulsy při prudkém trnutí volantu, čímž se měřila zmiňovaná dynamika. Toto měření se provádělo pro elektromobil jak se zvednutými koly, tak při jízdě na vozovce. Měřila se dynamika při průjezdu zatáčkami. Měření proběhlo při prudkém zatáčení a také při pozvolnějším zatáčení.



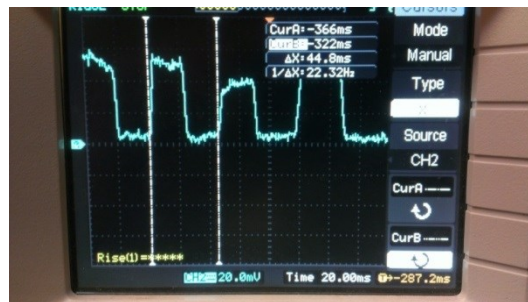
Obr. 3.2.2.17: Zaznamenané pulsy za jízdy



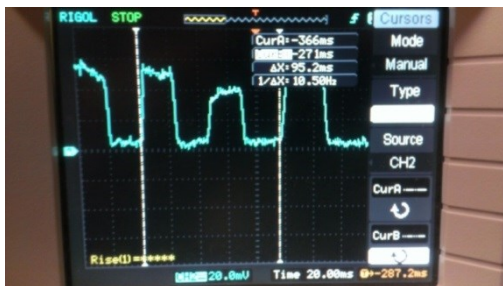
Obr. 3.2.2.18: Zaznamenané pulsy zdviženého vozu



Obr. 3.2.2.19: Zaznamenané pulsy, naměřený jeden puls



Obr. 3.2.2.20: Zaznamenané pulsy, naměřené dva pulsy



Obr. 3.2.2.21: Zaznamenané pulsy, naměřené čtyři pulsy

Tab. 3.2.2.1: Tabulka měřených pulsů u zdviženého vozu

| | Jeden puls | Dva pulsy | Čtyři pulsy |
|------------|------------|-----------|-------------|
| | 25,6ms | 44,8ms | 95,2ms |
| Jeden puls | 25,6ms | 22,4ms | 23,8 ms |
| Průměr | 23,93ms | | |

Tab.3.2.2.2: Tabulka měřených pulsů u jedoucího vozidla

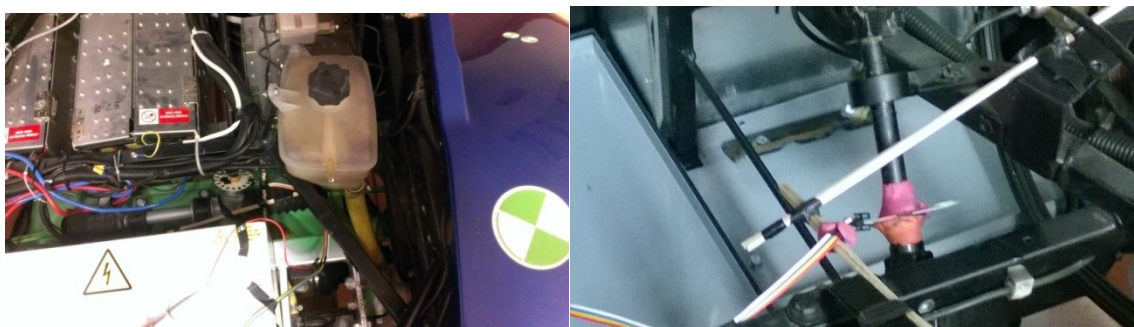
| Naměřené pulsy [ms] | | | | | | | | | |
|---------------------|----|----|-----|-----|----|----|----|----|-----|
| 68 | 40 | 28 | 20 | 20 | 28 | 24 | 20 | 24 | 24 |
| 28 | 28 | 28 | 28 | 32 | 36 | 36 | 32 | 32 | 28 |
| 36 | 60 | 16 | 16 | 16 | 12 | 12 | 12 | 12 | 8 |
| 12 | 8 | 12 | 16 | 16 | 20 | 24 | 24 | 32 | 28 |
| 24 | 20 | 16 | 12 | 20 | 8 | 16 | 12 | 16 | 28 |
| 36 | 36 | 44 | 68 | 176 | 72 | 68 | 64 | 40 | 32 |
| 28 | 28 | 24 | 40 | 56 | 40 | 32 | 28 | 40 | 16 |
| 16 | 52 | 64 | 104 | 76 | 64 | 48 | 48 | 56 | 116 |

Tyto časy byly naměřené při různých rychlostech automobilu a při různé intenzitě zatáčení.

Tab. 3.2.2.3: Tabulka seřazených pulsů jedoucího vozidla

| | Doba pulsu [ms] | Počet zastoupení |
|---------------|-----------------|------------------|
| Krátké pulsy | 8 | 3x |
| | 12 | 8x |
| | 16 | 10x |
| | 20 | 6x |
| | 24 | 7x |
| | 28 | 12x |
| | 32 | 6x |
| | 36 | 5x |
| | 40 | 5x |
| Střední pulsy | 44 | 1x |
| | 48 | 2x |
| | 52 | 1x |
| | 56 | 2x |
| | 60 | 1x |
| | 64 | 3x |
| | 68 | 3x |
| | 72 | 1x |
| | 76 | 1x |
| Dlouhé pulsy | 104 | 1x |
| | 116 | 1x |
| | 176 | 1x |

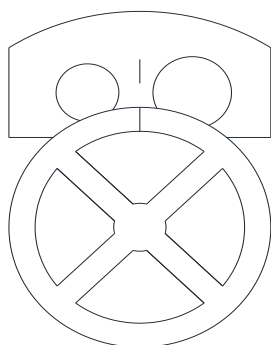
Z měření vyplývá, že volant při trnutí má největší rychlost otočení 8ms na natočení 10°. Nejrychlejší možné otočení volantu o 360° tedy může být 288ms. Měřením bylo zjištěno, že maximální otočení volantu je o 68 prázdných pulsů a 69 pulsů plných, což je 137 pulsů. Po přepočtu na stupně to je 1370°. Takže nejrychlejší otočení z plného do plného rejdu je 1088ms, tj. 1,088s. Tento stav ovšem může nastat pouze v laboratorních podmínkách. Protože jak vyplývá z měření, taková rychlost točení není možná udržet ani při maximálním trnutí volantu, ale pouze v ojedinělém pulsu.



Obr. 3.2.2.22, 23: zapojení snímače

e) Měření otáček na volantu

Jedná se o měření času otočení volantu. Na volantu automobilu je umístěn indikační proužek a tentýž proužek je umístěn na přístrojové desce. Tyto dva indikační proužky jsou v zákrytu, když kola vozidla jsou v přímém směru. Pokus spočívá v co nejrychlejším otočení volantu o jednu otáčku a to nejprve jedním a poté druhým směrem. Poté co je volant natočen o jednu otáčku (doprava/ doleva) je následně otočen o dvě otáčky (doleva/doprava). Doba otočení je změřena pro automobil v klidovém stavu, což znamená 0km/h a také za jízdy při různých rychlostech automobilu. Čím rychleji automobil jede, tím menší je doba otočení a tím větší potřebná dynamika.



Obr.3.2.2.24: Znázornění měření na volantu

Měření otáček na volantu je upraveno a provedeno tak, aby ověřilo předchozí měření pomocí optického senzoru. Při měření se automobil nadzvedl, tak aby přední kola byla zdvižena nad vozovku a tím nedocházelo k žádnému tření. Provádělo se 10 měření otočení z maximálního otočení do maximálního otočení na druhou stranu, jedná se o otočení volantu o 1370° , což bylo zjištěno z měření pomocí optické závory. Pro názorné ověření toho, že dynamika volantu je při nadzvednutí automobilu vyšší bylo provedeno demonstrační měření také pro automobil ve spuštěné poloze, tedy plnou vahou na vozovce.

Tab.3.2.2.4: Měření otáček naprázdno

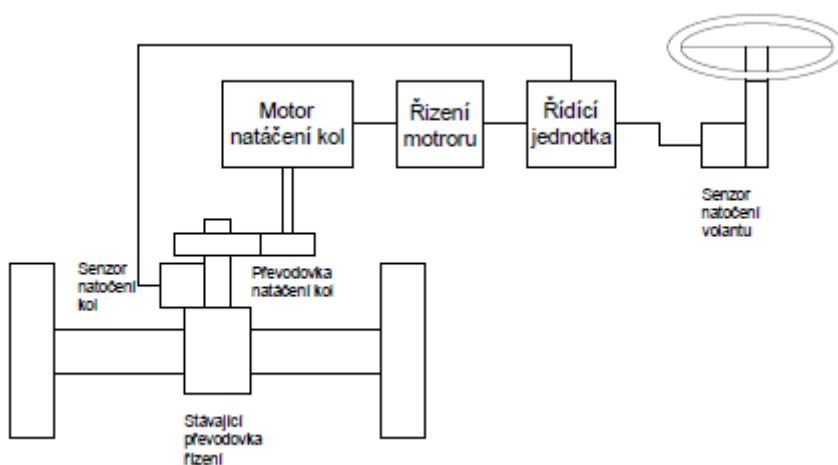
| Opakování | Doprava | Doleva |
|----------------|---------|--------|
| 1 | 3,7 | 4,3 |
| 2 | 3,7 | 3,6 |
| 3 | 3,6 | 3,6 |
| 4 | 3,7 | 3,9 |
| 5 | 3,5 | 3,4 |
| Průměr | 3,64 | 3,76 |
| Celkový průměr | 3,7 | |

Tab.3.2.2.5: Měření otáček se zatížením

| Opakování | Doprava | Doleva |
|----------------|---------|--------|
| 1 | 5,2 | 5,2 |
| Celkový průměr | 5,2 | |

3.3.Návrh řešení

Návrh vychází z konstrukce automobilu a z toho, aby zásah do něj byl přijatelný. Montáž je sice prováděna na demonstrační soustavě, ale je navržena tak, aby ji bylo možné vestavět do vozidla. K volantu je připevněn senzor natočení volantu, který snímá jeho aktuální polohu. Z tohoto senzoru jde informace o poloze volantu do řídicí jednotky, která tuto informaci zpracuje a vyšle signál do řízení pohonu natočení kol. Pohon natočení kol tvořený motorem s převodovkou natočí kola do požadovaného úhlu. Úhel natočení kol je snímán senzorem, jehož výstupní hodnota se rovněž zavádí do řídicí jednotky a na základě které řídicí jednotka koriguje řízení pohonu. Původní převodovka řízení je zanechána protože se na její přírubu dá snadno připevnit převodovka natáčení kol a v řídicí soustavě lze použít.



Obr.3.3.1: Blokové schéma návrhu řešení

Řešení elektrického volantu u herního volantu:

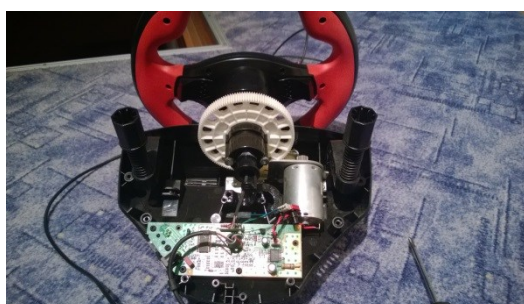
Pro nástin technologie byl použit princip herního volantu, kde je patrné, jak lze sestavit snímání natočení volantu. Jedná se přesněji jen o volantovou část, ale podobné snímání lze také použít i na opačné straně řízení. A tím zajistíme, že hodnoty jdoucí do řídicí jednotky mají stejné parametry.



Obr.3.3.2, 3: Herní volant foto1,2



Obr.3.3.4, 5: Herní volant foto3, 4



Obr.3.3.6: Herní volant foto5

Herní volant využívá plastových převodů ke snímači. Na podobných plastových ozubených kolech je také umístěn motorek, který klade volantu odpor a dodává mu reálnější pocit z řízení.

3.4.Výběr snímače natočení

3.4.1. Optické úhlové snímače

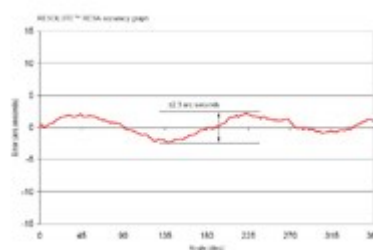
Absolutní rotační (úhlový) snímač RESOLUTE na kroužcích RESA

RESA je jednodílný kroužek z nerezové oceli s absolutní stupnicí s roztečí 30 μm vyznačenou přímo na obvodu.[10]

Jedinečné řešení stupnice s jednou dráhou slučuje data o absolutní poloze a informace o fázi do jediného kódu, který v kombinaci s moderním optickým detekčním systémem snímače RESOLUTE poskytuje daleko širší montážní tolerance než běžné absolutní snímače s více dráhami. [10]



Obr.3.4.1.1: Snímač RESOLUTE na kroužcích RESA[10]



Obr.3.4.1.2: Graf přesnosti [10]

RESA nabízí působivou přesnost s rozlišením do 0,00075 úhlové sekundy, zatímco čtecí hlavy RESOLUTE se vyznačují malou chybou interpolace (SDE) a nízkým chvěním. Díky tomu je tento snímací systém vhodný pro většinu aplikací náročných na přesnost. [10]

V případě vysokorychlostních aplikací je RESOLUTE schopen dosáhnout rychlosti až 36 000 ot./min i s rozlišením 27 bitů. Díky této jedinečné kombinaci rychlosti a schopnosti řízení pohybu je RESOLUTE zvláště vhodný pro aplikace, jako jsou vysoce výkonné soustruhy, které potřebují vysoké otáčky pro obráběcí operace, velmi plynulou rychlost a dobrou polohovou stabilitu pro tvarové obrábění a orientaci v ose C. [10]

Absolutní rotační (úhlový) snímač RESOLUTE na zvláště přesných kroužcích REXA

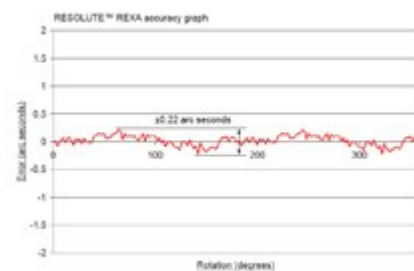
Pro aplikace vyžadující maximální úhlovou přesnost úhlový snímač REXA nabízí nové úrovně přesnosti – celková přesnost po instalaci lepší než ± 1 úhlová sekunda, nulové vazební ztráty, rozlišení 1 nm a výjimečnou opakovatelnost. [10]

Stejně jako u stupnice RESA je i u kroužku REXA z nerezové oceli absolutní dělení vyznačeno přímo na obvodu. Vyznačuje se však silnějším příčným profilem, který minimalizuje všechny montážní chyby kromě výstřednosti, kterou lze snadno korigovat pomocí duálních čtecích hlav RESOLUTE. [10]

Jakmile duální čtecí hlavy vyloučí účinky výstřednosti, zbývají pouze chyby dělení a interpolace (SDE), přičemž obě dvě jsou velmi malé. Při použití kroužku REXA spolu s duálními čtecími hlavami RESOLUTE je možné dosáhnout celkové přesnosti po instalaci lepší než ± 1 úhlová sekunda. Jako bezkontaktní systém jsou kroužky REXA pevně namontovány na rotoru, čímž se eliminují vazební ztráty, chvění, kroucení hřídele a další chyby hystereze, kterými trpí uzavřené snímače. [10]



Obr.3.4.1.3, 4: Snímač RESOLUTE na kroužcích REXA[10]



Obr.3.4.1.5: Graf přesnosti [10]

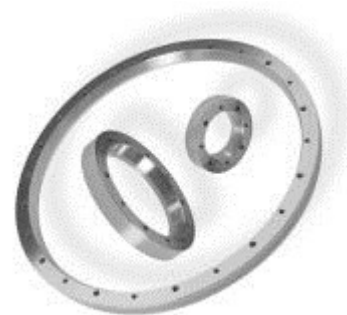
Úhlový snímač RESR

Renishaw nabízí působivé parametry. Díky přesnosti dělení až $\pm 0,5$ úhlové sekundy a rozlišení až 0,004 úhlové sekundy se hodí i pro ty nejnáročnější přesné aplikace. [10]

Kroužky RESR

Snímač RESR je jednodílný kroužek z nerezové oceli s dělením vyznačeným axiálně po obvodu. Kroužek RESR s roztečí 20 μm je kompatibilní s čtecími hlavami RGH20 a RGH35, zatímco kroužek RESR s roztečí 40 μm je kompatibilní s čtecími hlavami RGH34 a RGH40. Přesnost dělení až $\pm 0,5$ úhlové sekundy a opakovatelnost systému až 0,004 úhlové sekundy. Široký rozsah průměrů a hustoty rastru poskytuje kompatibilitu se standardními průmyslovými řídicími jednotkami (\varnothing 52mm až \varnothing 550mm s hustotou rastru 4 096 až 86 400). Patentované upínání na kuželovou plochu minimalizuje chyby při instalaci a zjednodušuje zabudování. Kroužek s malým příčným profilem 10 mm x 10 mm. Konstrukce s nízkou hmotností a malým momentem setrvačnosti zvyšuje dynamický výkon. [10]

Jednodílný kroužek z nerezové oceli odolává vibracím, mechanickým a tepelným rázům a tepelnému přetížení. K dispozici jsou také kroužky profilu B s mimořádně malým momentem setrvačnosti, které zajišťují ještě vyšší zrychlení nebo zpomalení a zkracují doby nastavení. Referenční značku, která zajišťuje opakovatelnou výchozí polohu, obstarává samostatný magnetický ovladač. Kroužky s roztečí 20 μm jsou kompatibilní s čtecí hlavou RGH20F určenou pro prostředí s velmi vysokým podtlakem (UHV) [10]



Obr.3.4.1.6: Kroužek RESR[10]

3.4.2. Magnetické úhlové snímače

LM13

je vybaven kompaktní uzavřenou čtecí hlavou a magnetického kruh o průměru 100,5 mm. Čtecí hlava může pohybovat 1,5 mm od povrchu prstence.[9]

Mezi výhody snímače patří jednoduchá instalace, má vestavěný set-up LED na čtecí hlavy a široké instalační tolerance. Pracuje od -10°C do $+80^{\circ}\text{C}$, má vodotěsné utěsnění IP68 a je vysoce odolný proti nárazům, vibracím a tlaku. [8]



Obr.3.4.2.1:LM13[8]

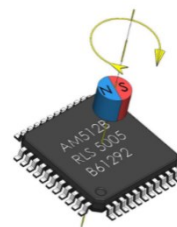
Snímač je dodáván v digitálních výstupních variantách a nabízí širokou škálu volitelných zákaznických provedení, které nabízejí rozlišení od 1280 do 327.680 kroků na otáčku. Je schopen pracovat při rychlosti až 20000 otáček za minutu. [8]

AM512B

Snímá úhlovou polohu permanentním magnetem umístěným nad čipem. Permanentní magnet musí být diametrálně polarizovaný válcového tvaru. [8]

AM512B využívá technologii snímače Hall pro detekci magnetického toku rozložení hustoty na povrchu křemíku. Hallovy senzory jsou umístěny v kruhovém poli kolem středu snímače a poskytují výstupní napětí dle polohy magnetu. [8]

Napěťové výstupy z pole snímače se mění s magnetem polohy. Sinus a kosinus signály jsou pak převedeny na absolutní úhel polohy snímače. [8]



Obr.3.4.2.2:AM512B[8]

AM4096 - 12 BIT ROTARY MAGNETIC ENCODER CHIP

- Bezkontaktní úhlové kódování pozice nad 360 ° C
- Volitelné rozlišení až 12 bitů
- Programovatelná nulová poloha
- Výstupní možnosti:
 - inkrementální
 - Serial SSI
 - UVW
 - TWI
 - Lineární napětí
- Programovatelný: vyrovnávací paměti sinus / cosinus, tacho
- Provoz vysokorychlostní
- 3 V nebo 5 V napájení
- Úsporný režim
- Rozšířený rozsah pracovních teplot (-40 ° C až 125 ° C)
- Integrované EEPROM

[8]

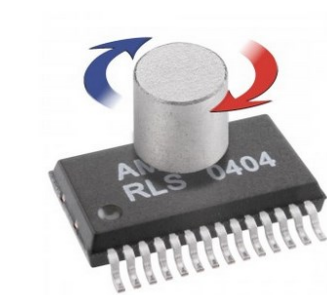


Obr.3.4.2.3:AM4096 [8]

AM256 - 8 BIT ROTARY MAGNETIC ENCODER CHIP

- Bezkontaktní úhlová kódování pozice nad 360 ° C
- Ideální pro náročná prostředí v důsledku magnetického snímání
- Kompletní system-on-chip řešení
- 8 bit absolutního snímače

- Výstupní možnosti:
 - inkrementální
 - paralelní
 - Serial SSI
 - Analogový sinusový
 - Vysoká rychlost otáčení až 60,000 min
 - 5 V napájení
 - Nízká spotřeba energie. 13 mA typické.
 - Rozšířený rozsah pracovních teplot (-40 ° C až 125 ° C)
- [8]



Obr.3.4.2.4:AM256 [8]

3.4.3. Potenciometrové úhlové snímače

AL1703 AL 1705 AL 1710

22mm přesný více otáčkový potenciometr se 3, 5 nebo 10 otáčkami. Elektrický úhel 3 600 °, 1 800 ° a 1 080 °, průměr hřídele 6,35 mm, dlouhá životnost. Přesný manuální ovládací prvek s možností mnoha volitelných úprav jako např. změna tvaru hřídele, prodloužení hřídele vzadu, vestavěná kluzná spojka apod.[11]

Použití:

Díky vynikajícím elektrickým i mechanickým vlastnostem lze tento potenciometr využít jako rotační snímač,[11]

- | | |
|------------------------------|---------------------|
| - Rozsah odporu (Ω) | 100 – 1 k – 50 k |
| - Tolerance odporu (%) | ± 5 |
| - Tolerance linearity (%) | $\pm 0,25$ |
| - El. zatížitelnost (W) | 0,5–2 |
| - El. úhel (°) | 1 080, 1 800, 3 600 |
| - Mechanický úhel (°) | 1 080, 1 800, 3 600 |
| - Životnost (ot.) | 1 000 000 |
| - Provozní teplota (°C) | -55 až +105 |

[11]



Obr.3.4.3.1: AL1703 AL 1705 AL 1710 [11]

HH1703 HH1705 HH 1710

22mm přesný hybridní více otáčkový potenciometr s 3,5 nebo 10 otáčkami. Elektrický úhel 3 600 °, 1 800 ° a 1080°, průměr hřídele 6,35 mm, dlouhá životnost. [11]

Vinutí je kryté vrstvou z vodivého plastu, která zajišťuje dlouhou životnost a vynikající rozlišení. Rozměry a elektrické vlastnosti se shodují s parametry standardního více otáčkového potenciometru.[11]

Použití:

Obzvlášť vhodné pro instalace s důrazem na životnost.[11]

- Rozsah odporu (Ω) 100 – 1 k – 50 k
- Tolerance odporu (%) ± 5
- Tolerance linearity (%) $\pm 0,25$
- El. zatížitelnost (W) 1–1,5
- El. úhel ($^\circ$) 1080,1 800, 3 600
- Mechanický úhel ($^\circ$) 1080,1 800, 3 600
- Životnost (ot.) 1,5–5 mil.
- Provozní teplota ($^\circ\text{C}$) –55 až +105

[11]



Obr.3.4.3.2: HH1703 HH1705 HH 1710 [11]

R-SPC

22mm přesný potenciometr s 10 otáčkami, vinutý, se závitem. Elektrický úhel 3 600 $^\circ$, průměr hřídele 6 mm[11]

Ovládací prvek s vysokým rozlišením. [11]

Použití:

Potenciometry R-SPC jsou cenově dostupné, mechanicky pevné a konstrukčně velmi dobře řešené. Používají se jako prvky v ovládacích panelech. [11]

- Rozsah odporu (Ω) 100 – 1 k – 50 k
- Tolerance odporu (%) ± 5
- Tolerance linearity (%) $\pm 0,5$
- El. zatížitelnost (W) 2
- El. úhel ($^\circ$) 3 600 ± 10
- Mechanický úhel ($^\circ$) 3 600
- Životnost (ot.) 500 000
- Provozní teplota ($^\circ\text{C}$) –35 až +105

[11]



Obr.3.4.3.3: R-SPC [11]

R22M

22mm přesný potenciometr s 10 otáčkami, vinutý, se závitem. Elektrický úhel 3 600 $^\circ$, průměr hřídele 4 mm. [11]

Ovládací prvek s vysokým rozlišením. [11]

Použití:

R22M vyniká robustním provedením, je cenově dostupný a v kombinaci s přidavným více otáčkovým knoflíkem se stupnicí se hodí pro průmyslové použití. [11]

- Rozsah odporu (Ω) 100 – 1 k – 50 k
- Tolerance odporu (%) ± 5
- Tolerance linearity (%) ± 1
- El. zatížitelnost (W) 2
- El. úhel ($^\circ$) 3 600 ± 10
- Mechanický úhel ($^\circ$) 3 600
- Životnost (ot.) 200 000
- Provozní teplota ($^\circ\text{C}$) -35 až $+105$

[11]



Obr.3.4.3.4: R22M [11]

3.4.4. Lankové snímače

Lankový snímač WDS-P60 s digitálním výstupem

Lankové snímače řady P60 / P96 jsou navrženy pro všeobecné použití. Mnoho variant provedení umožňuje použít snímač téměř pro každou aplikaci, snímače se dodávají s různými analogovými výstupy, které umožňují použití v mnoha aplikacích [12]

- Měřicí rozsahy (mm): 1,000 | 1,500
- Linearita max. 0.2mm
- Výstupní signál: inkrementální encoder
- Robustní hliníkový kryt

[12]

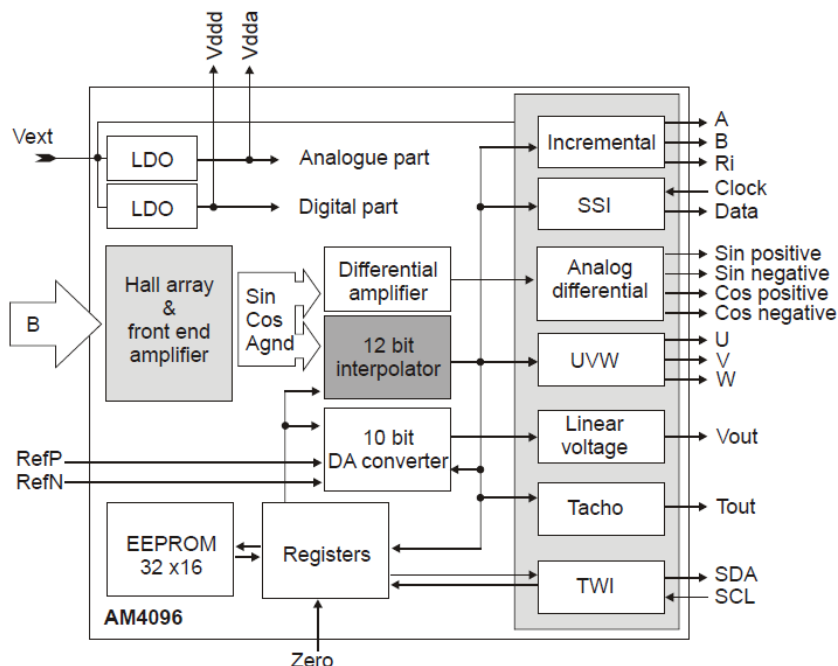


Obr.3.4.4.1: Lankový snímač WDS-P60 s digitálním výstupem [12]

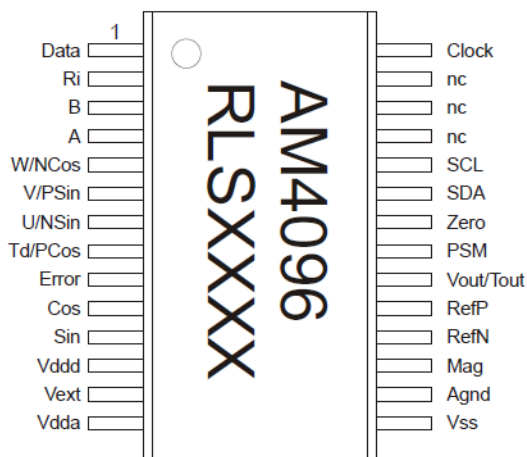
3.4.5. Vybraný snímač natočení

Vybraný snímač natočení bude sloužit k snímání polohy volantu, a také k snímání polohy natočení kol. Z vybíraných snímačů by pro tuto aplikaci byl nejvhodnější lankový snímač, kvůli své robustnosti a snadné nastavitelnosti. Bohužel lankové snímače jsou velmi cenově nákladné, a proto nebyly použity. Použití potenciometrového snímače bylo vyloučeno kvůli nízké životnosti. Jako cenově dostupný snímač bez pevné mechanické vazby, které by se mohly poškodit, byl vybrán magnetický snímač. Jeho nevýhodou jsou však velmi malé rozměry a požadavky na velkou přesnost uložení magnetu.

AM4096 - 12 BIT ROTARY MAGNETIC ENCODER CHIP



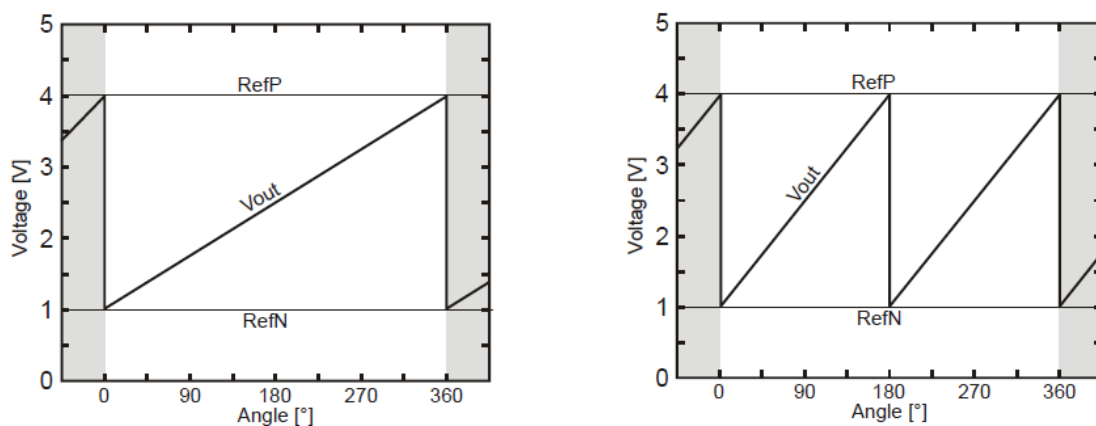
Obr.3.4.5.1: Blokový diagram AM4096 [8]



Obr.3.4.5.2: Popis Pinů AM4096 [8]

Lineární výstupní napětí

Digitální relativní úhlová informace je převedena na lineární napětí s 10 bitovým DA převodníkem. Lineární výstupní napětí má pilový tvar a leží v mezi vymezené se dvěma externími kolíky RefP a RefN. Počet pulsů na otáčku může být zvolen s parametrem "Dac". Nastavení rozlišení Interpolátor by mělo být více než 10 bitů. [8]



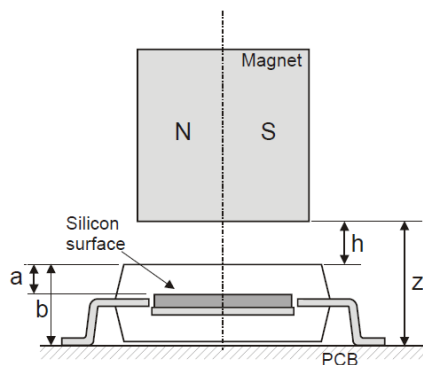
Obr.3.4.5.3, 4: Průběh pro jednu periodu $Dac=00$, $Dac=01$ [8]

Mohou být použity i jiné výstupní veličiny jako například inkrementální, Serial SSI, UVW, TWI. Pro řešenou aplikaci bylo zvoleno jako výstup lineární napětí 0-5V.

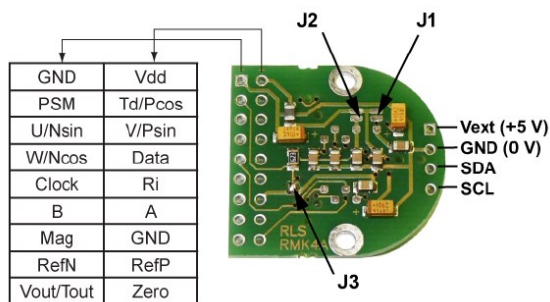
Pozice magnetu

Magnet musí být umístěn nad AM4096 ve středu Hallovovy sondy. [10]

Rozměr a udává vzdálenost čipu od obalu, vzdálenost b je vzdálenost čipu od desky, rozměr h udává vzdálenost magnetu od pouzdra čipu a rozměr Z vzdálenost magnetu od desky.



Obr.3.4.5.5: Umístění magnetu [8]



Obr.3.4.5.5: Instalační deska pro AM4096 [8]

3.5.Řídící jednotka

Řídící jednotka zajišťuje správný chod řízení vozidla. Komunikuje se dvěma snímači a regulátorem napětí. Pro tuto aplikaci tedy stačí použití microcontrolleru a není třeba použití PLC. V případě použití PLC by bylo možné tuto řídící jednotku využít také k dalším případným funkcím vozidla. Pro toto použití by bylo PLC zbytečné prostorné, proto byla vybrána ATmega16.

ATmega16

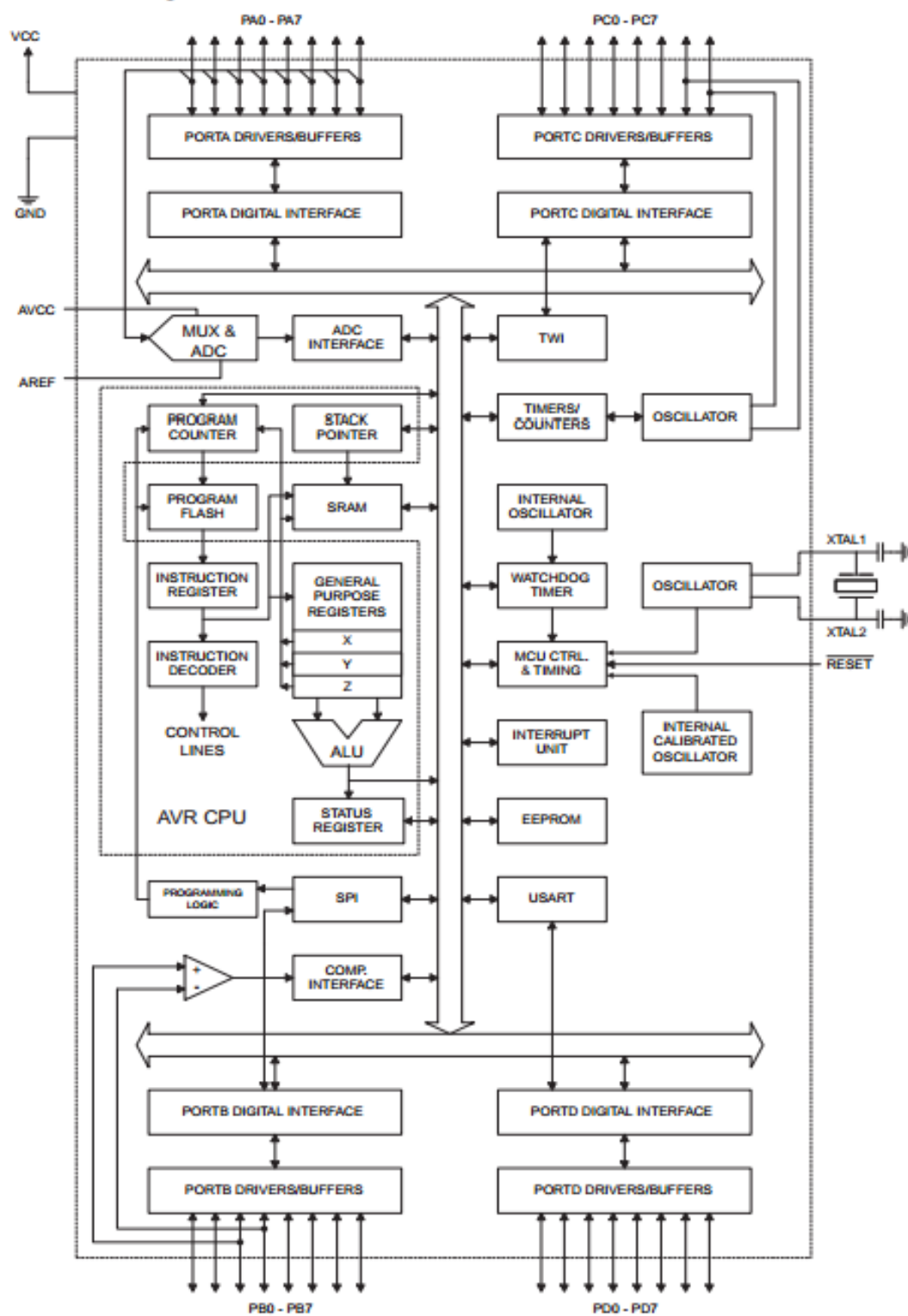
AVR jádro kombinuje bohatou instrukční sadu s 32 pracovními registry pro všeobecné použití. Všechny 32 registrů je přímo spojeno s aritmeticko-logickou jednotkou, která umožňuje dvěma nezávislým registrům přístupnost v jednom provedení instrukce v jednom hodinovém cyklu. Výsledná architektura je více efektivní, přičemž je dosaženo až desetkrát rychlejší průchodnosti než u konvenčního CISC microcontrolleru. ATmega 16 poskytuje následující funkce: 16kB programovatelnou flash paměť se čtecími a zapisovacími schopnostmi, 512B EEPROM, 1kB SRAM, 32 pracovních registrů pro všeobecné použití, 32 I/O linek, JTAG rozhraní pro Boundaryscan, On-chip podpora ladění a programování, tři flexibilní Timer/Counters se srovnávacími režimy, vnitřní a vnější přerušení, sériově programovatelný USART, 1B orientovaný na dvoudrátové sériové rozhraní, 8 kanálů, 10-ti bitový ADC s volitelným diferenciálním vstupem, programovatelný Watchdog Timer s interním oscilátorem, sériový port SPI a šest softwarových úsporných režimů energie. Klidový stav zastaví procesor, přičemž USART, Two-wire rozhraní, A/D převodník, SRAM Timer / Counters, SPI port a systém přerušení budou nadále fungovat. Režim Power-down ukládá obsah registrů, ale oscilátor zamrzne, omezeny jsou všechny ostatní čipové funkce a to do příštího vnějšího přerušení nebo resetu hardwaru. V úsporném režimu asynchronní časovač pokračuje v běhu, který umožňuje uživateli udržovat základ časovače, zatímco zbytek zařízení spí. Režim ADC Noise Reduction (redukce hluku) zastaví CPU a všechny I/O moduly s výjimkou asynchronního časovače a ADC. V pohotovostním režimu krystal / rezonátor oscilátor běží, zatímco zbytek zařízení je v režimu spánku. To umožňuje velmi rychlé spuštění v kombinaci s nízkou spotřebou energie. Přístroj je vyroben z vysoce hustého trvalého plastu technologie Atmel. [13]

Vlastnosti

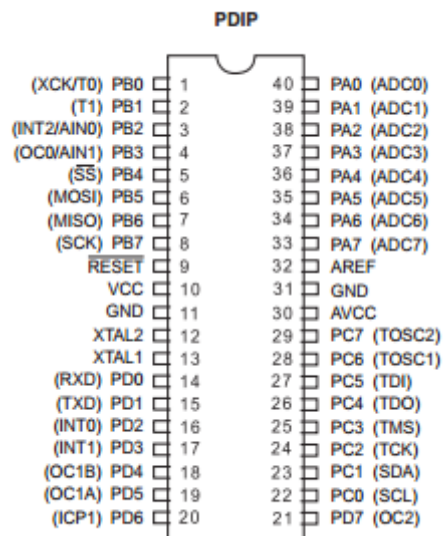
Vysoce výkonný, Low-power Atmel® AVR® 8-bit Microcontroller

- Pokročilá RISC architektura
- 32 x 8 Univerzální pracovní registry
- Plně statický provoz
- Až 16 MIPS propustnost na 16 MHz

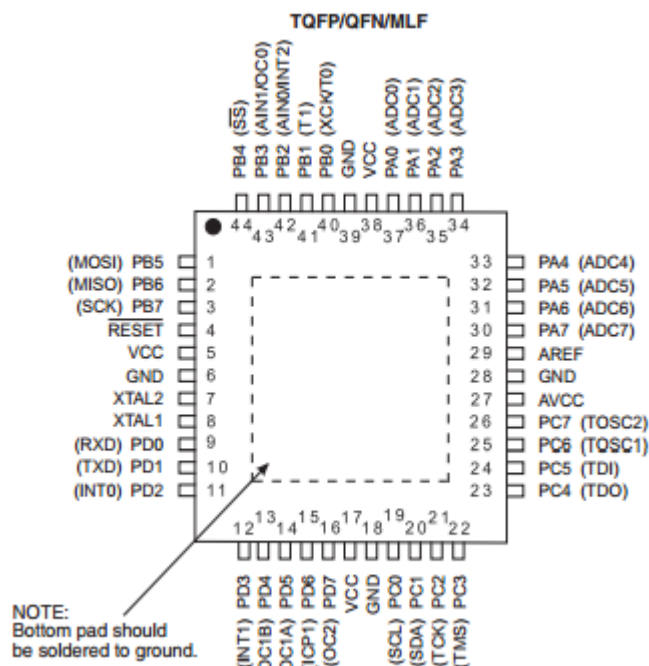
[13]



Obr.3.5.1: Blokové schéma ATmega16 [13]



Obr.3.5.2: Piny PDIP ATmega16 [13]



Obr.3.5.3: Piny TQFP/QFN/MLF ATmega16 [13]

3.6.Výběr pohonu

r...poloměr příruby převodovky 7,65mm = 0,00765m

t...čas 360°=288ms, 10°=8ms

Naměřená minimální síla k pootočení nápravy byla 3,645kg na páce 150mm.

Maximální naměřená rychlost otáčení kol byla 10° za 8ms.

S toho vyplývá, že na konci rozběhu musí mít otáčky 20° za 8ms což je $n = 6,94 \text{ ot/s}$

Výpočet pohonu:

Rovnoměrně zrychlený pohyb

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 20^\circ}{0,008} = 43,61 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

$$J = m \cdot r^2 = 3,645 \cdot 0,15^2 = 0,082 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$M = J \cdot \varepsilon = 0,082 \cdot 43,61 = 3,58 \text{ N} \cdot \text{m}$$

k M je nutno připočíst i J motoru + převodu

$$P = M \cdot \omega = 3,58 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{20^\circ}{360^\circ \cdot 0,008} = 156,13 \text{ W}$$

3.6.1. Vybrané typy motorů

KING RIGHT M1080 350W Dia109.5mm

- 24V DC
- 140 Ncm = 1,4Nm
- 350W
- 3500ot/min

[14]



Obr.3.6.1.1: KING RIGHT M1080 350W Dia109.5mm[14]

KING RIGHT M9480LT 300W Dia100mm

- 24V DC
- 90 Ncm = 0,9Nm
- 300W
- 3700ot/min

[14]



Obr.3.6.1.2: KING RIGHT M9480LT 300W Dia100mm [14]

Transmotec DC motor Série D109141

- | | |
|------------------|---------------------|
| - 12V DC | - 24V DC |
| - 9kg/cm = 0,9Nm | - 9,9kg/cm = 0,99Nm |
| - 380W | - 410W |
| - 2280ot/min | - 2340ot/min |

[15]



Obr.3.6.1.3: Transmotec DC motor Série D109141[15]

DC motor 350W 12V S1

- 12V DC
- 1,12Nm
- 350W
- 3000ot/min

[16]



Obr.3.6.1.4: DC motor 350W 12V S1[16]

DC motor 350W 24V S1

- 24V DC
- 1,21Nm
- 350W
- 3000ot/min

[16]



Obr.3.6.1.5: DC motor 350W 24V S1[16]

DC motor 180W 12V S1

- výkon od 180W
- napájení 12V
- 3000 ot./min
- moment 0,57Nm
- třída izolace F
- krytí IP44
- válcové tělo bez ventilátoru
- příruba 56B14, možnost příruby 63-B14
- možno kombinovat se šnekovou, planetovou, přímou a kuželočelní převodovkou

[16]

- EC180.120.S2 25°
- Výkon 250W
- Napětí 12V
- Proud 30A
- Moment 0,8Nm

[16]



Obr.3.6.1.6: DC motor 180W 12V S1[16]

DC motor 180W 24V S1

- výkon od 180W
- napájení 24V
- 3000 ot./min
- moment 0,57Nm
- třída izolace F
- krytí IP44
- válcové tělo bez ventilátoru
- příruba 56B14, možnost příruby 63-B14
- možno kombinovat se šnekovou, planetovou, přímou a kuželočelní převodovkou

[16]

- EC180.240.S2 25‘

- Výkon 250W
- Napětí 24V
- Proud 15A
- Moment 0,8Nm

[16]



Obr.3.6.1.7: DC motor 180W 24V S1[16]

3.6.2. Vybrané typy převodu

Planetová převodovka P42

- převod 4 až 308
- výstupní moment 3 - 15 Nm
- maximální otáčky 3000 ot./min
- účinnost 0,7 - 0,8
- kompaktní design
- vhodné pro všechny druhy aplikací (kontinuální, reverzační a polohovací)
- vysoká účinnost a životnost
- libovolná montážní pozice v základním provedení (vysoce kvalitní mazivo)

[16]



Obr.3.6.2.1: Planetová převodovka P42[16]

Planetová převodovka P52

- převod 4 až 308
- výstupní moment 4 - 25 Nm
- maximální otáčky 3000 ot./min
- účinnost 0,7 - 0,8
- kompaktní design
- vhodné pro všechny druhy aplikací (kontinuální, reverzační a polohovací)
- vysoká účinnost a životnost
- libovolná montážní pozice v základním provedení (vysoce kvalitní mazivo)

[16]



Obr.3.6.2.2: Planetová převodovka P52[16]

3.6.3. Vybraný pohon

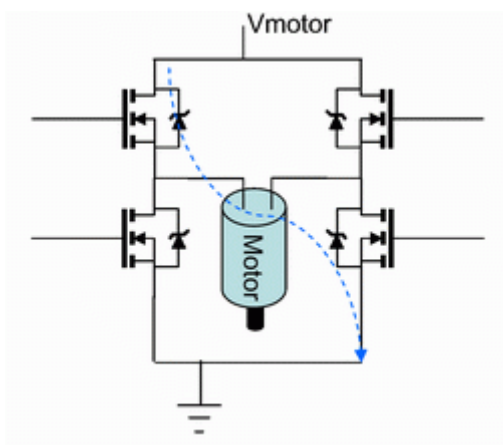
Z potřebných parametrů je vybrána níže uvedená sestava pohonu. Splňuje veškeré požadavky a parametry pro danou aplikaci a dokonce ještě některé požadavky převyšuje, což je vhodné v případě výraznější změny hmotnosti vozidla.



Obr.3.6.3.1: DC motor 180W 12V SI EC 180.240 S2 25' [16]

3.7.Řízení pohonu

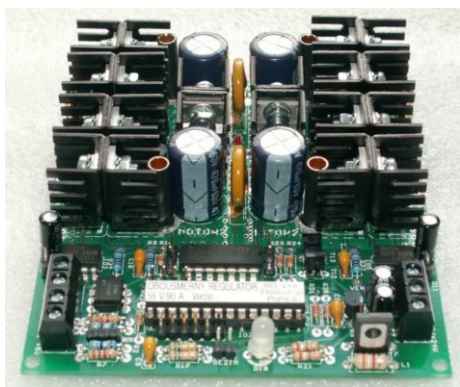
Řízení motoru je řešeno pomocí pulzně šířkové modulace (PWM). Možností použití jsou obousměrné usměrňovače napětí, které by umožnily plynulou napěťovou regulaci oběma směry. Toto řešení by bylo dostatečně přesné a rychlé. Nevýhodou tohoto modulu je, že obsahuje také prvky, které bychom v aplikaci nevyužili, a proto je použit sestavený H-můstek, který má pouze vlastnosti a prvky které se budou pro řízení využívat.



Obr.:3.7.1: Plný spínací H-můstek [17]

Obousměrný regulátor napětí DORN 2090

Regulátor je především určen pro řízení otáček stejnosměrných elektromotorů (s permanentními magnety nebo cize buzených) v obou směrech v elektrických vozidlech, v motokolech nebo i v navijácích pro modely. Otáčky a smysl otáčení jsou buď řízeny pouze pomocí potenciometru, případně napětím 0 až 5 V, nebo lze potenciometrem řídit pouze otáčky a smysl otáčení volit spínačem. Rozsah regulace (mezí polohy potenciometru a maximální otáčky v jednom i druhém směru), brzdový výkon (rekuperací nebo protiproudem), proudové omezení a zrychlení (až 10 vteřin) si může uživatel libovolně nastavit. Napájecí napětí regulátoru může být v rozmezí 11 až 20 V, proud do 90 A. Regulátor má vestavěnou tepelnou, EMF, přepětíovou ochranu. Rozměry regulátoru jsou 102 x 94 x 31 mm. [18]



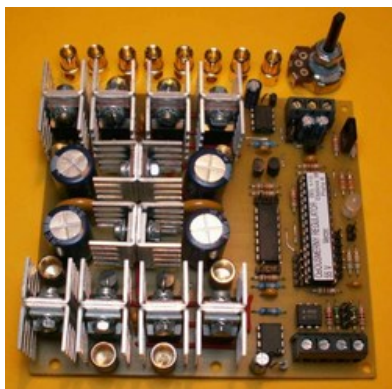
Obr.3.7.2: DORN 2090 [18]

Obousměrný regulátor napětí DORN 5590

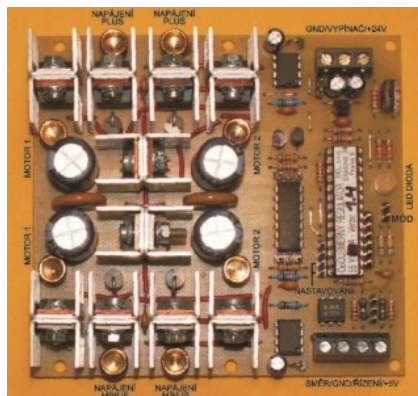
Základní technické údaje:

- Napájecí napětí regulátoru: 15 až 55 V.
- Zatěžovací proud: až 90 A.
- Regulační rozsah: 0 až 100 % (nastavitelné maximum v každém směru).
- Proudová omezení: nastavitelné od 9 do 90 A (v 10 krocích).
- Zpomalení náběhu napětí: nastavitelné od 0 až 12 s (na celý regulační rozsah).
- Rekuperační brzda: nastavitelná 0 až 100 % (z maximální možné síly, v 10 krocích).
- Brzdění protiproudem: nastavitelná 0 až 20 % (z maximálního PWM, v 10 krocích).
- Další ochrany: tepelná a přepět'ová.
- Kmitočet spínání: 8 kHz.
- Rozsah pracovních teplot: 0 až 40 °C.
- Rozměry: 102 x 94 x 31 mm.

[18]



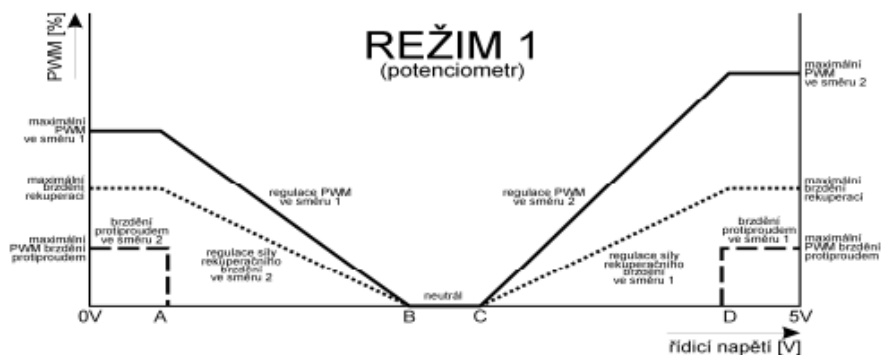
Obr.3.7.3: DORN 5590 [18]



Obr.3.7.4: DORN 5590 Popis zapojení [18]

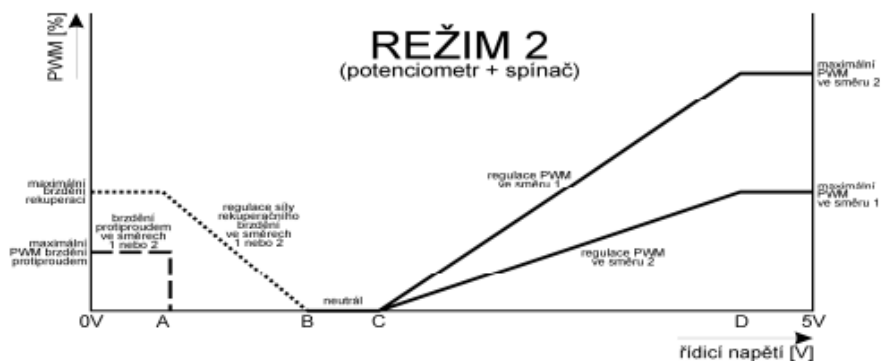
Režimy ovládání regulátoru

Režim 1 (pouze potenciometr): V tomto režimu se vše ovládá pouze potenciometrem nebo řídícím napětím 0 až 5 V. [18]



Obr.3.7.5: DORN 5590 Režim 1 [18]

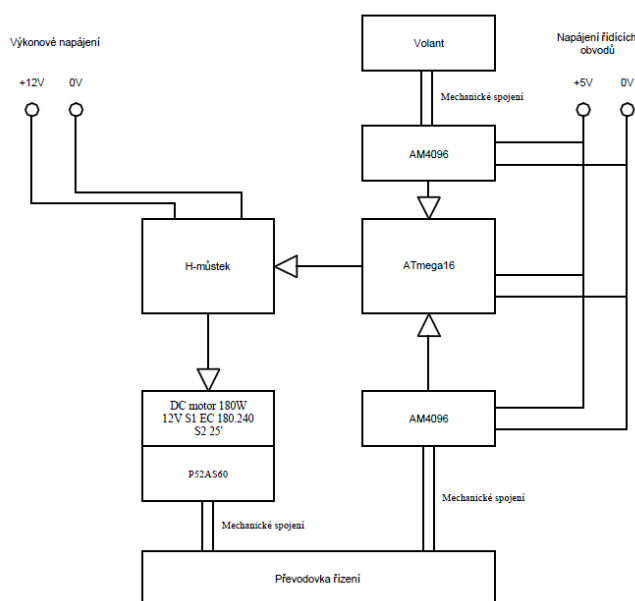
Režim 2 (potenciometr a přepínač): V tomto režimu se regulace napětí ovládá potenciometrem (nebo řídicím napětím rychlosti 0 až 5 V) a směr vypínačem (nebo řídicím napětím směru 0 nebo 5 V). [18]



Obr.3.7.6: DORN 5590 Režim 2 [18]

3.8.Koncepce řešení

K volantu ze Škoda Octavia je připevněn magnetický snímač AM4096, který zjišťuje aktuální polohu natočení volantu. Tato informace je posílána do řídicí jednotky ATmega16, který tuto hodnotu porovnává s hodnotou snímače polohy natočení kol stejného typu AM4096. Senzor natočení kol je připevněn na přírubu převodovky řízení ze Škoda Favorit. Řídicí jednotka ATmega16 porovnává a vyhodnocuje odlišné úhly natočení volantu a kol. Na základě rozdílných hodnot natočení volantu a nápravy se provádí řízení H-můstku, kterým je regulován směr a rychlost pohonu natáčení nápravy. Tento pohon se skládá s DC motoru 180W 12V S1 EC 180.240 S2 25' ke kterému je pevně přichycena planetová převodovka P52AS60, tato kombinace motoru a převodovky tvoří jeden celistvý pohon. Výstup z převodovky je převeden na přírubu převodovky nápravy. Napájení silové části je provedeno napětím 12V a napájení čipů je 5V.



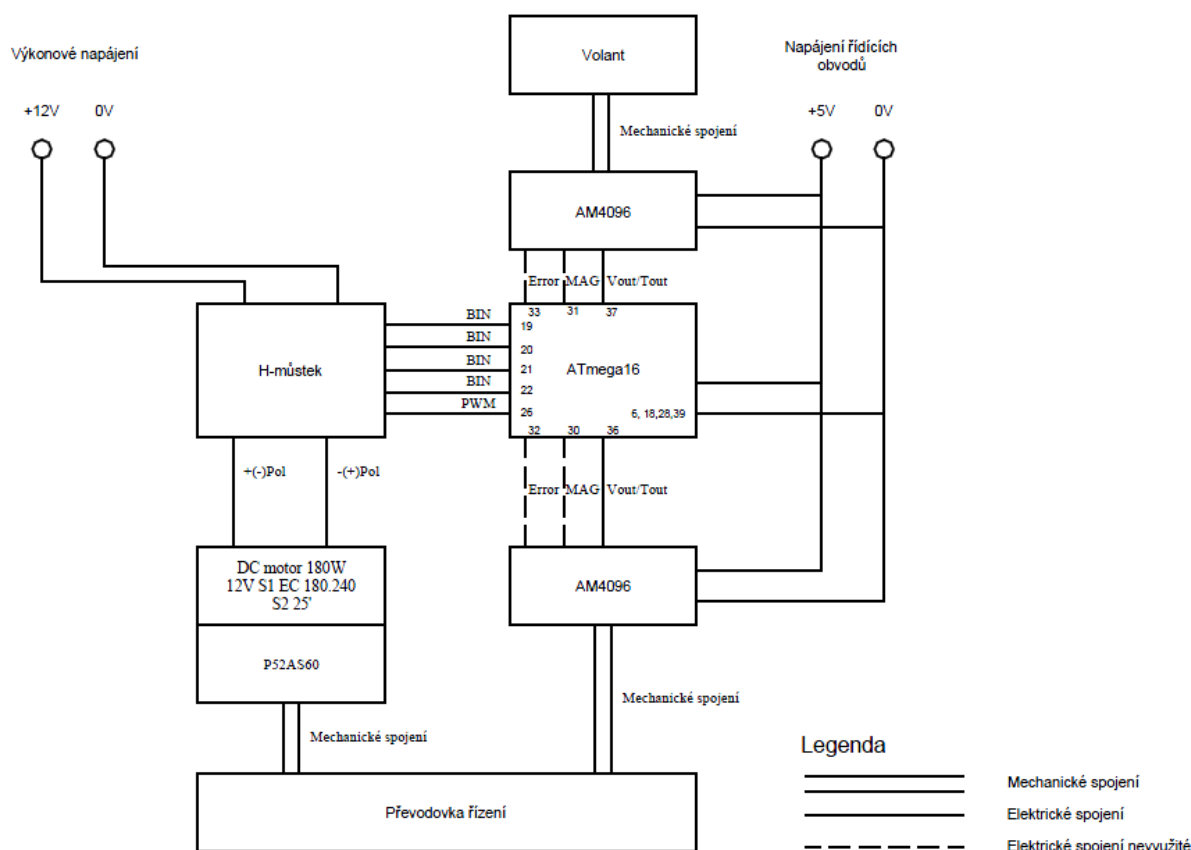
Obr.3.8.1:Koncepce řešení

4. Sestavení soustavy

Sestavená demonstrační soustava je rozdělena do dvou samostatných celků a to na řídicí část a na řízenou část. Řídicí část tvoří soustava volantu a snímače AM4096, ze kterého získáváme signál v podobě analogového napětí 0-5VDC, úměrný poloze natočení volantu. Při základní poloze volantu, která odpovídá požadovanému přímému směru pojezdu automobilu, má výstupní signál snímače hodnotu 2,5V. Z čidla jsou dále vyvedeny signály pro zjištění erroru a případnou ztrátu kontaktu čipu s polem magnetu. Tyto hodnoty jsou pouze kontrolní pro oživení a odladění funkce celé soustavy.

Řízená část soustavy je tvořena pohonem natočení kol sestávajícího z DC motoru a planetové převodovky. Na přírubu převodovky řízení je umístěn senzor natočení kol AM4096 s výstupem 0-5VDC, úměrný poloze natočení kol. Z toho senzoru jsou rovněž vyvedeny signály pro zjištění erroru a případnou ztrátu kontaktu čipu snímače s polem magnetu, které jsou i v tomto případě pouze kontrolní pro oživení a odladění funkce celé soustavy

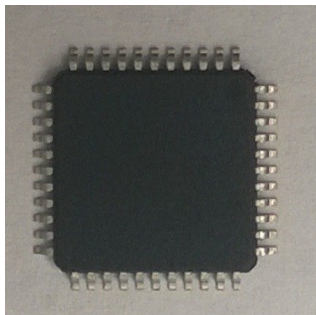
Obě výstupní napětí ze snímačů se porovnávají v microcontrolleru ATmega16 a na základě rozdílů napětí je řízen H-můstek. Směr buzení motoru řízení je ovládán čtyřmi binárními vstupy, které do kříže spínají H-můstek. Řízení je realizováno PWM výstupem s ATmegy. H-můstek řídí pohon, který je připevněn k přední nápravě.



Obr.4.1:Návrh koncepce řešení

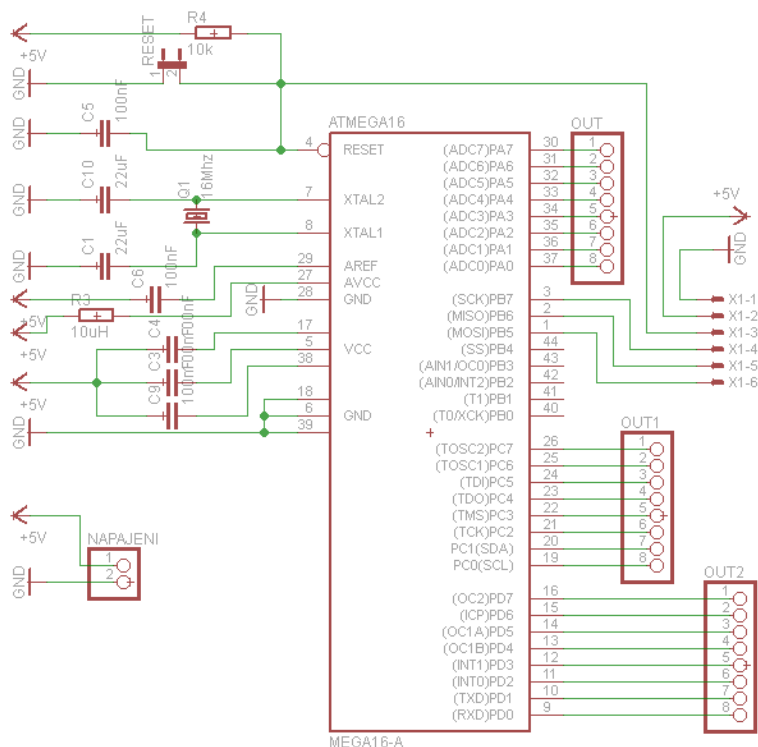
4.1.Řídicí jednotka

Jako řídicí jednotka je zde použit microcontroller ATmega16-AU, do řídicí jednotky vstupují hodnoty napětí 0-5VDC ze snímačů natočení volantu a nápravy. Tyto hodnoty se vzájemně porovnávají pro stanovení směru a rychlosti pohonu natočení nápravy. Výstup z microcontrolleru je typu PWM, kterým se řídí velikost výstupního napětí na H-můstku, tj. rychlost otáček motoru. Dalšími výstupy z microcontrolleru jsou čtyři binární signály připojené na vstupy k H-můstku, které ovládají spínání mosfet tranzistorů a tím také směr točení motoru.

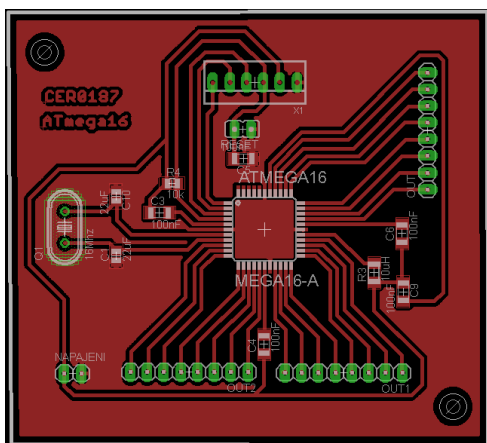


Obr.:4.1.1: ATmega16-AU

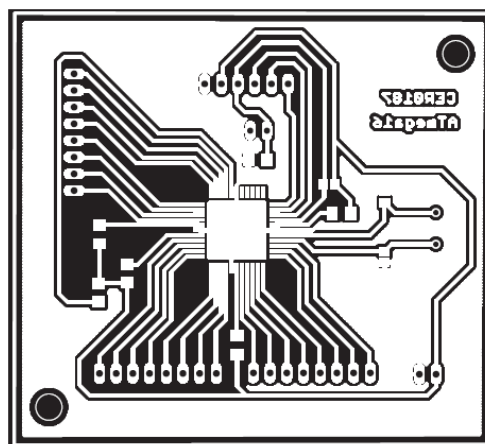
K mikročipu je vyrobena základní deska pro připojení všech potřebných pinů, napájení čipu a také pro připojení programátoru. Tato deska je navržena v programu EAGLE a vyrobena osvitovou technikou ve školní laboratoři. Viz příloha Plošný spoj ATmega16



Obr.:4.1.2.: Schéma plošného spoje ATmega16



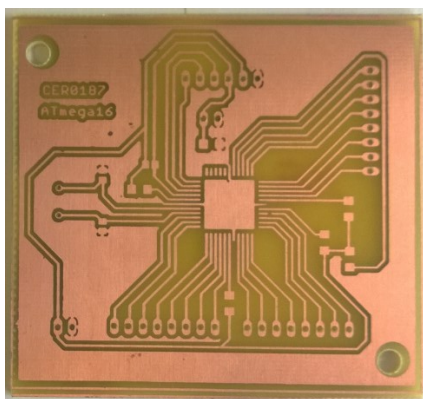
Obr.:4.1.3: Návrh plošného spoje ATmega16



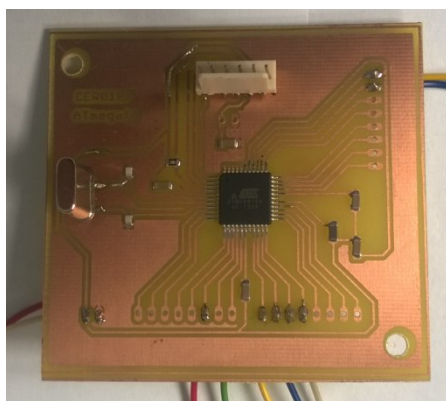
Obr.:4.1.4: Maska plošného spoje ATmega16

Použité součástky pro plošný spoj ATmega16

| | |
|---------------------|----|
| - ATmega16-AU | 1x |
| - Krystal 16MHz | 1x |
| - Rezistor 10kΩ | 1x |
| - Kondenzátor 100nF | 5x |
| - Kondenzátor 22pF | 2x |
| - Tlumivka 10uH | 1x |
| - Konektor 6 pin | 1x |



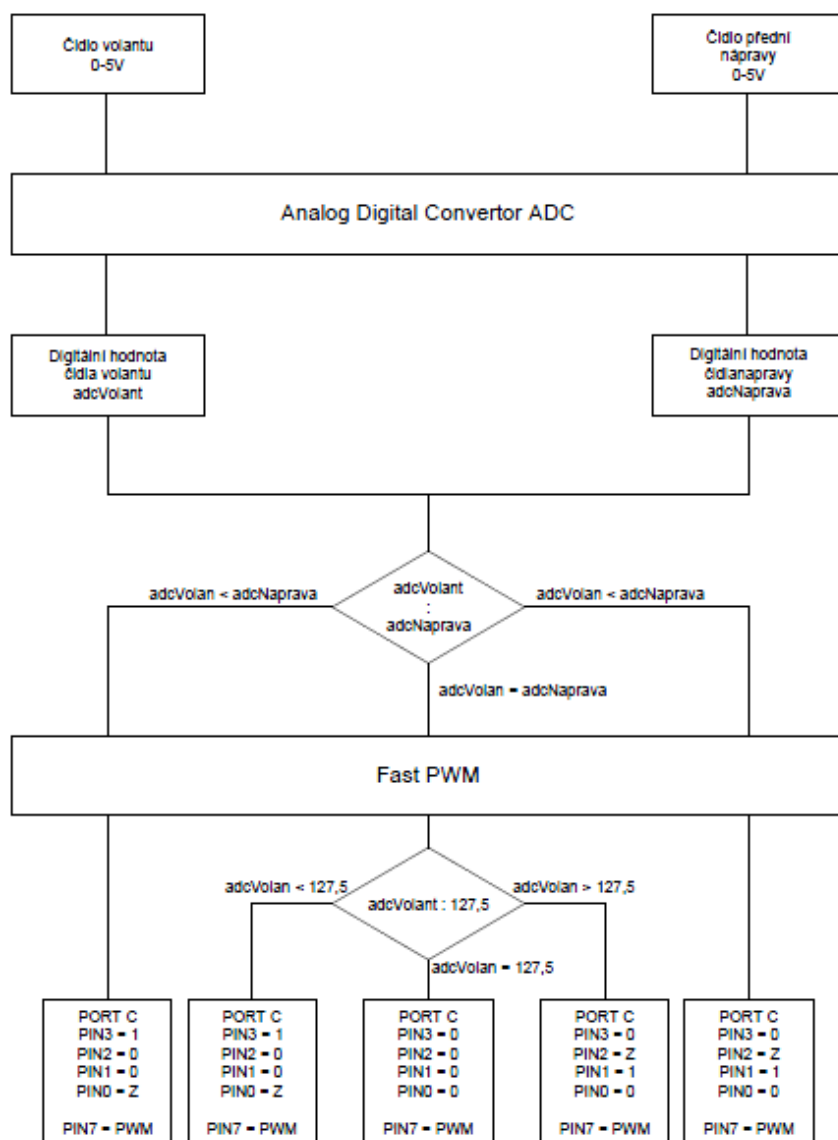
Obr.:4.1.5: Neosazený plošný spoj ATmega16



Obr.:4.1.6: Osazený plošný spoj ATmega16

Program do AVR

Program pro ATmegu16 je vytvořen v jazyce C a programovacím prostředí AtmelStudio. Na vstupy PORTA pin 0 a 1 vstupují hodnoty napětí. Tyto hodnoty jsou převedeny vnitřním A/D převodníkem na hodnoty adcVolant a adcNaprava. Tyto dvě hodnoty se navzájem porovnávají a na jejich základě spínají PORTC piny 0 až 3 pro řízení směru. Na pinech 1 a 3 se kombinuje stav logické 1 pro spuštění a stav logické 0 pro vypnutí, zatímco na pinu 0 a 2 se střídá stav logické 0 pro vypnutí a stav vysoké impedance pro sepnutí. Také se na pin PD5 (OC1A) přivádí hodnota z Fast PWM. *Viz příloha Program řízení*



Obr.:4.1.7: Vývojový diagram

Na vstupy PORTA pin 0 a 1 se přivádí měřící napětí ze snímačů nápravy a volantu. Tato dvě napětí se se převedou pomoci AD převodníku na digitální hodnoty označené `adcVolant` a `adcNaprava`. Pokud je hodnota `adcVolant` menší než hodnota `adcNaprava` znamená to, že volant je otáčen vlevo, čímž i směr natáčení nápravy musí být vlevo, proto jsou sepnuty piny 3 a 0, což odpovídá mosfet tranzistorům P1 a N2 na H-můstku. V opačném případě je sepnuta druhá dvojice a to N1 a P2. V případě, že je rozdíl čidel nulový, dochází pouze k buzení motoru, aby se zamezilo vrácení kol do původní polohy. Stav vysoké impedance znamená, že na tranzistor N1 nebo N2 je přiváděna hodnota PWM odpovídající velikosti rozdílu poloh snímačů. Viz. Obr.:4.1.7. Pro zamezení vrácení kol při otáčení je zde zahrnuta definice buzení pro překonání geometrie nápravy. Tato hodnota se musí nastavit individuálně pro každý vůz podle jeho parametrů. Pro tuto demonstrační soustavu je buzení 0, protože nedochází k žádnému působení protichůdných sil.

Ukázka kódu

Viz příloha Program řízení

```
#define F_CPU 16000000UL // Definice hodinového signalu
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h> // Hlavičkový soubor pro zpoždění

#define buzeni 0; // Definována hodnota buzeni na 0V odpor proti geometrii nápravy
```

Obr.:4.1.8: Použité knihovny a definice

```
unsigned int Read_ADC(unsigned char channel)
{
    ADMUX &= 0xE0; // Císla kanálu
    ADMUX |= channel & 0x1F;

    ADCSRA |= (1 << ADSC); // Start převodu A/D

    while(!(ADCSRA & (1<<ADIF))); // Čekej na příznak skončení převodu

    ADCSRA |= (1 << ADIF); // vynulování flag ADIF

    return (ADC >> 2); // Navratová hodnota - výsledek A/D převodu
}
```

Obr.:4.1.9: Funkce AD převodníku

```
unsigned int adcVolant, adcNapravainverz, adcNaprava;

ADMUX = (1 << REFS0); // Reference 5V

ADCSRA |= (1 << ADEN) | (1 << ADIF) | (1 <<ADPS2) | (1 <<ADPS1) | (1 <<ADPS0);

// Povolení AD převodníku, Interrupt flag, předelicek 128 při frekvenci hodin 8MHz

DDRA = 0x00; // PORTA - nastavení jako vstup
PORTA = 0x00; // PORTA - vypnutí pull-up
DDRC = 0xFF; // PORTC - nastavení jako výstup
PORTC = 0x00; // PORTC - vynulování výstupu

DDRD = (1 << PD5); // Nastavení výstup PWM OC1A

TCCR1A = (1<< COM1A1) | (1<<WGM10); // Fast PWM 8-bit
TCCR1B = (1<<WGM12);
OCR1A = (uint8_t) ( (uint32_t) rozdilCidel*255/100); // Rozdil 0-255
TCCR1B |= (1 << CS10); // Zapínání timeru
```

Obr.:4.1.10: Nastavení registrů

```

while(1)

{
    adcVolant = Read_ADC(0);           // Mereni napeti volantu
    adcNapravainverz = Read_ADC(1);    // Mereni napeti naprawy

    adcNaprava=255-adcNapravainverz;    // Otoceni smeru cidla

    _delay_ms(50);                     // cekani 50ms

    // Prepinani smeru tocení volantu
    if (adcVolant<adcNaprava)           // Zataceni doprava
    {
        PORTC &= ~(1<<PC3);           // Vynulovani vystupu P1

        DDRC |= (1<<PC2);              // Vynulovani vystupu N1
        PORTC &= ~(1<<PC2);

        PORTC &= ~(1<<PC1);            // Vynulovani vystupu P2

        DDRC |= (1<<PC0);              // Vynulovani vystupu N2
        PORTC &= ~(1<<PC0);

        PORTC |= (1<<PC3);             // Zapnutí P1
        DDRC &= ~(1<<PC0);             // Stav vzsoke impedance N2

        rozdilCidel=(adcNaprava-adcVolant); // Hodnota PWM
    }

    else
    if (adcVolant>adcNaprava)           // Zataceni doleva
    {
        PORTC &= ~(1<<PC3);           // Vynulovani vystupu P1

        DDRC |= (1<<PC2);              // Vynulovani vystupu N1
        PORTC &= ~(1<<PC2);

        PORTC &= ~(1<<PC1);            // Vynulovani vystupu P2

        DDRC |= (1<<PC0);              // Vynulovani vystupu N2
        PORTC &= ~(1<<PC0);

        PORTC |= (1<<PC1);             // Zapnutí P2
        DDRC &= ~(1<<PC2);             // Stav vzsoke impedance N1

        rozdilCidel=(adcVolant-adcNaprava); // Hodnota PWM
    }
}

```

```

else
{
    if (adcVolant==adcNaprava) // Bez pohybu, otevrenz smer pro buzeni motoru
    {
        if (adcVolant<127)
        {
            PORTC &= ~(1<<PC3); // Vynulovani vystupu P1

            DDRC |= (1<<PC2); // Vynulovani vystupu N1
            PORTC &= ~(1<<PC2);

            PORTC &= ~(1<<PC1); // Vynulovani vystupu P2

            DDRC |= (1<<PC0); // Vynulovani vystupu N2
            PORTC &= ~(1<<PC0);

            PORTC |= (1<<PC3); // Zapnuti P1
            DDRC &=~(1<<PC0); // Stav vzsoke impedance N2

            rozdilCidel=buzeni; // Nastaveni buzeni
        }
    }
else
{
    if (adcVolant>127)
    {
        PORTC &= ~(1<<PC3); // Vynulovani vystupu P1

        DDRC |= (1<<PC2); // Vynulovani vystupu N1
        PORTC &= ~(1<<PC2);

        PORTC &= ~(1<<PC1); // Vynulovani vystupu P2

        DDRC |= (1<<PC0); // Vynulovani vystupu N2
        PORTC &= ~(1<<PC0);

        PORTC |= (1<<PC1); // Zapnuti P2
        DDRC &=~(1<<PC2); // Stav vzsoke impedance N1

        rozdilCidel=buzeni; // Nastaveni buzeni
    }
}

```

```

    }
else
    if (adcVolant==127)
    {
        PORTC &= ~(1<<PC3);           // Vynulovani vystupu P1
        |
        DDRC |= (1<<PC2);             // Vynulovani vystupu N1
        PORTC &= ~(1<<PC2);

        PORTC &= ~(1<<PC1);           // Vynulovani vystupu P2

        DDRC |= (1<<PC0);             // Vynulovani vystupu N2
        PORTC &= ~(1<<PC0);

        rozdilCidel=0;                // Rovna jizda
    }

OCR1A = rozdilCidel;                // Hodnota PWM

```

Obr.:4.1.11, 12, 13, 14, 15: Porovnávání různých stavů senzorů a jejich vyhodnocení

Pro správný běh programu bylo velmi důležité správně nastavit registry u ADC a také u PWM modu. U ADC byly důležité registry ADMUX, ADCSRA, ADC a SFIOR. U Fast PWM byly důležité registry TCCR0, TIMSK.

| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
|---------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| | REFS1 | REFS0 | ADLAR | MUX4 | MUX3 | MUX2 | MUX1 | MUX0 | ADMUX |
| Read/Write | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Obr.:4.1.16: Registr ADMUX[13]

| MUX4..0 | Single Ended Input | Positive Differential Input | Negative Differential Input | Gain |
|---------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|------|
| 00000 | ADC0 | N/A | | |
| 00001 | ADC1 | | | |
| 00010 | ADC2 | | | |
| 00011 | ADC3 | | | |
| 00100 | ADC4 | | | |

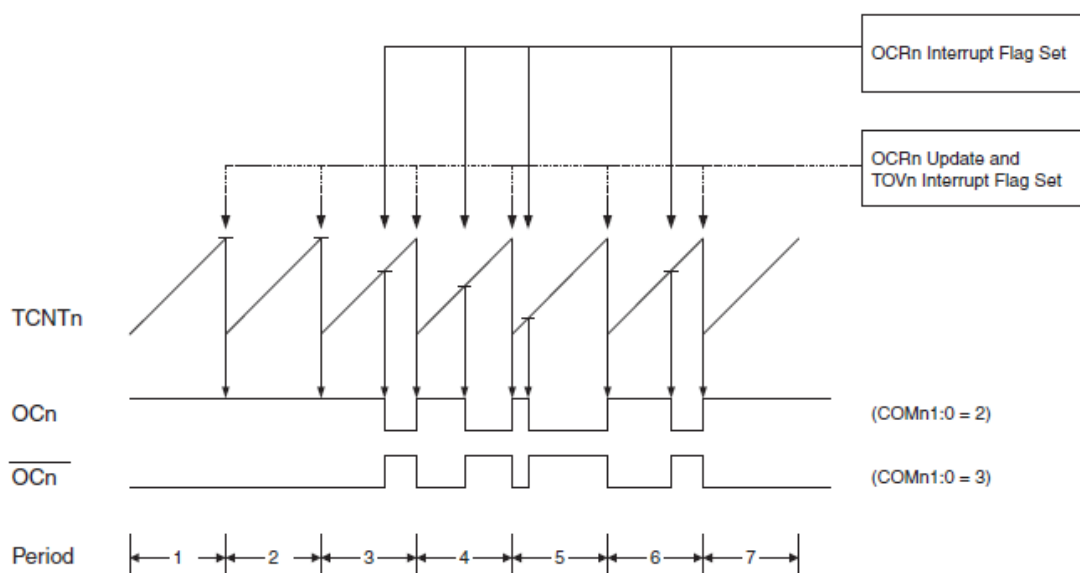
Obr.:4.1.17: Tabulka vstupů ADMUX[13]

| REFS1 | REFS0 | Voltage Reference Selection |
|-------|-------|--|
| 0 | 0 | AREF, Internal Vref turned off |
| 0 | 1 | AVCC with external capacitor at AREF pin |
| 1 | 0 | Reserved |
| 1 | 1 | Internal 2.56V Voltage Reference with external capacitor at AREF pin |

Obr.:4.1.18: Volba napětové reference ADMUX[13]

| ADTS2 | ADTS1 | ADTS0 | Trigger Source |
|-------|-------|-------|------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | Free Running mode |
| 0 | 0 | 1 | Analog Comparator |
| 0 | 1 | 0 | External Interrupt Request 0 |
| 0 | 1 | 1 | Timer/Counter0 Compare Match |

Obr.:4.1.19: Nastavení volného běhu SFIOR[13]

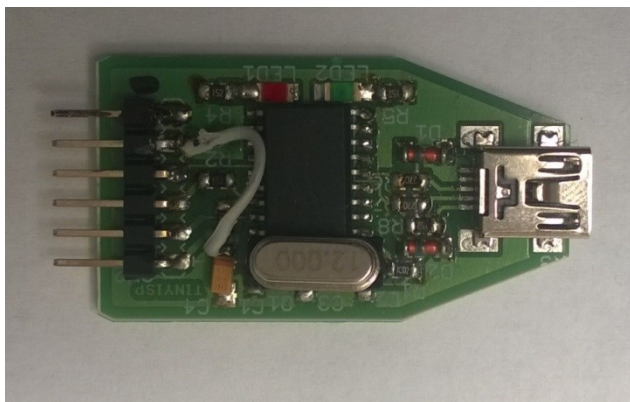


Obr.:4.1.20: Časový diagram Fast PWM[13]

| Bit | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
|---------------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
| | FOC0 | WGM00 | COM01 | COM00 | WGM01 | CS02 | CS01 | CS00 | TCCR0 |
| Read/Write | W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | R/W | |
| Initial Value | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Obr.:4.1.21: Registr TCCR0[13]

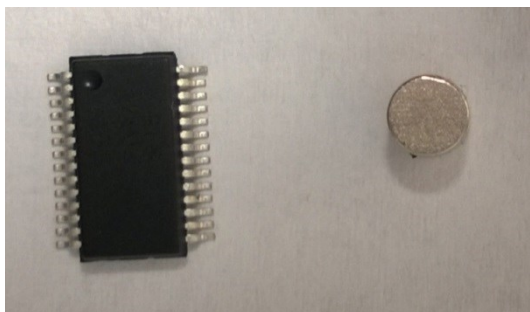
Nahrání programu bylo pomocí programátoru vytvořeného katedrou měření přímo pro ATmega. Tato komponenta mi byla zapůjčena školou, ale dá se koupit i originální programátor.



Obr.:4.1.20: Programátor pro ATmega16

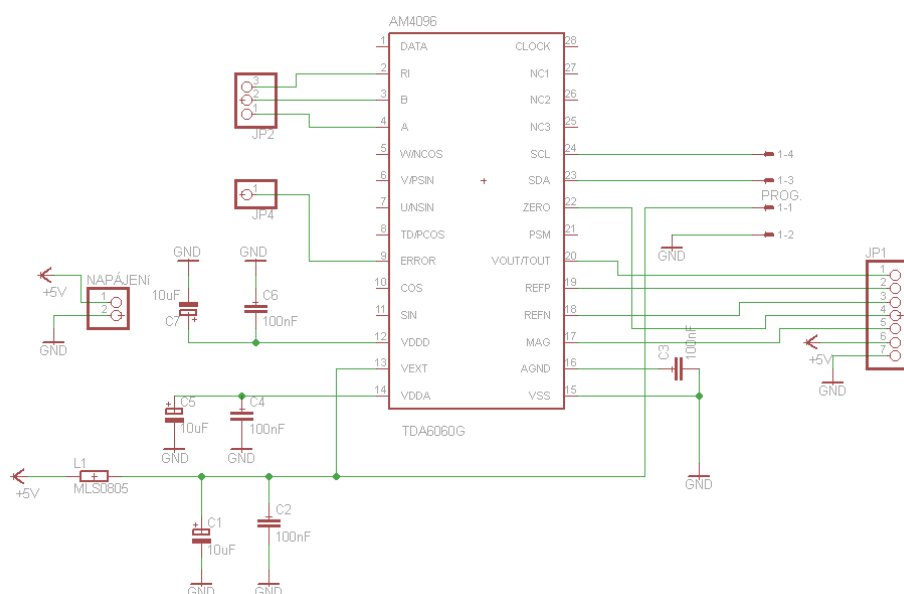
4.2.Snímače

Jsou použity snímače typu AM4096, výrobce RLS. Tyto snímače umožňují volbu tvaru výstupních signálů. Pro aplikaci řízení nápravy nejvíce vyhovují výstupy ve tvaru lineárního napětí, nebo inkrementální. Při použití lineárního napětí se používá výstup Vout a vstupy RefP a RefN, kterými se provádí nastavení horní a spodní měřicí reference. V této aplikaci je použito jako reference +5V a 0V (GND). Při inkrementálním výstupu se na řídicí jednotku přivádějí tři hodnoty A, B, Ri. Výstupní hodnotou ze snímačů byl pro aplikaci řízení nápravy zvolen výstupní signál ve tvaru lineárního napětí.

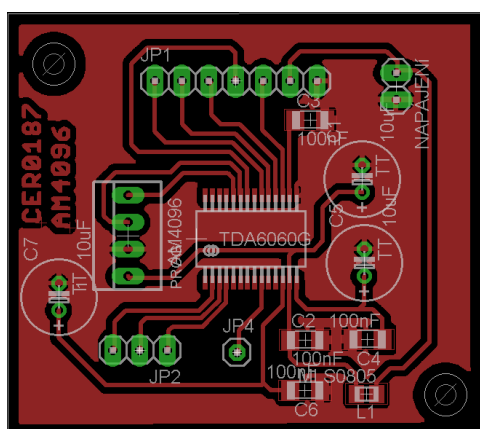


Obr.:4.2.1: Čip AM4096 s magnetem

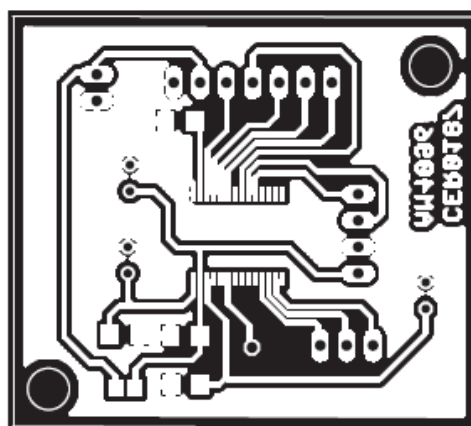
Pro použití těchto čidel byly vyrobeny plošné spoje, které jsou osazeny čipy a vytvořeny vývody k potřebným pinům. Jsou vyvedeny piny pro možnost měření jak lineárním napětím, tak také inkrementálně. Ze senzoru vychází také signály Error a Mag pro zjišťování případných chyb. Signál Error je výstupní signál, kterým je možné sledovat osově přesazení mezi čipem a magnetem nebo pomocí kterého můžeme sledovat amplitudu signálu. Signál Mag je digitální výstup pro sledování přítomnosti magnetu, v případě velké nebo malé vzdálenosti magnetu od čipu je výstupní signál nulový. Viz příloha Plošný spoj AM4096



Obr.:4.2.2: Schéma plošného spoje zapojení AM4096



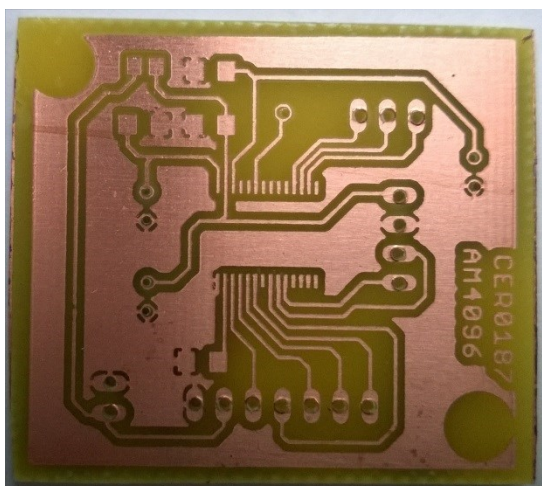
Obr.:4.2.3: Návrh plošného spoje AM4096



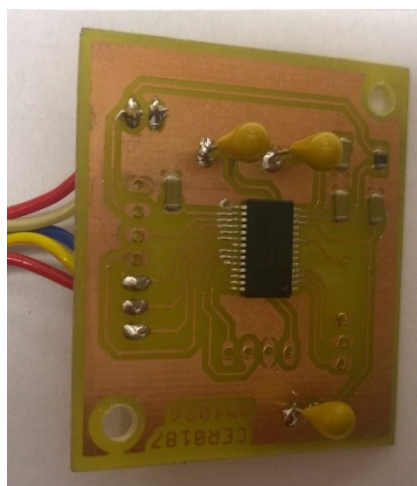
Obr.:4.2.4: Maska plošného spoje AM4096

Použité součástky pro plošný spoj AM4096

- | | |
|----------------------------|----|
| - Čip AM4096 | 1x |
| - Kondenzátor 10uF | 3x |
| - Kondenzátor 100nF | 4x |
| - Tlumivka MLS0805-4S4-300 | 1x |



Obr.:4.2.5: Neosazený plošný spoj AM4096



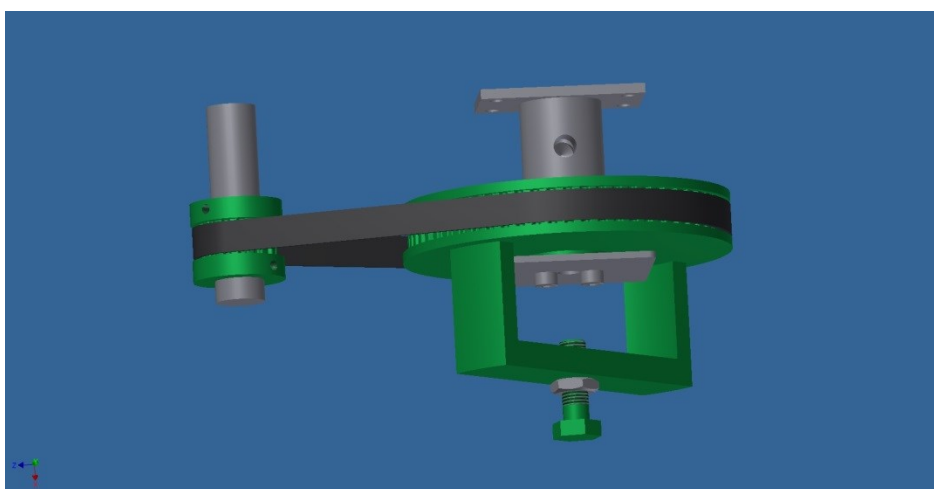
Obr.:4.2.6: Osazený plošný spoj AM4096

Uchycení snímače

Uchycení snímacího kitu je realizováno pomocí převodu, což umožňuje umístit snímač mimo osu, na které se provádí měření. Uvedeným převodem je provedena změna poměru otáček snímače a otáčené osy. Zmíněný převod je cca 1:4, což zjednodušuje snímání a 4 otáčky volantu či hřídele převodovky nápravy se na čidle jeví jako otáčka jedna. Jedná se o soustavu dvou ozubených řemenic navržených pro vlastnosti a rozměry standartního řemene firmy Haberkorn. Ozubený řemen T5 je šířky 10mm a délky 410mm pro osovou vzdálenost cca 100mm. Typové označení řemene T22831. Tento řemen a princip převodu je použit shodný u obou snímačů.

Stavitelnost magnetu pro přesné nastavení vzdálenosti od čipu zajišťuje nerezový šroub do kterého je magnet zapuštěn. Nerezový šroub je magneticky nevodivý, což zamezuje zkreslování polohy magnetu.

Návrh plastových částí převodu byl vymodelován ve 3D programu Invertor. Tisk těchto komponent zajistila škola na své 3D tiskárně. Viz příloha Model uchycení čipů



Obr.:4.2.7:Uchycení čipů AM4096

4.2.1. Uchycení snímače volantu

Pro demonstraci funkčnosti systému byl vyroben model uchycení volantu. Volant je použit ze Škody Octavie. Pro jeho uchycení byl sestaven rám simulující úchop v automobilu. Volant je upevněn v pohyblivé kleci volantu, díky níž je možné volant zasouvat a vysouvat a nastavovat jeho výšku. Takové uchycení zcela prokazuje použitelnost uchycení snímače.

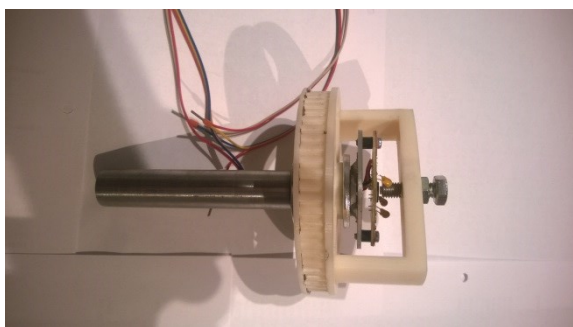


Obr.:4.2.1.1, 2: Demonstrační volantová soustava

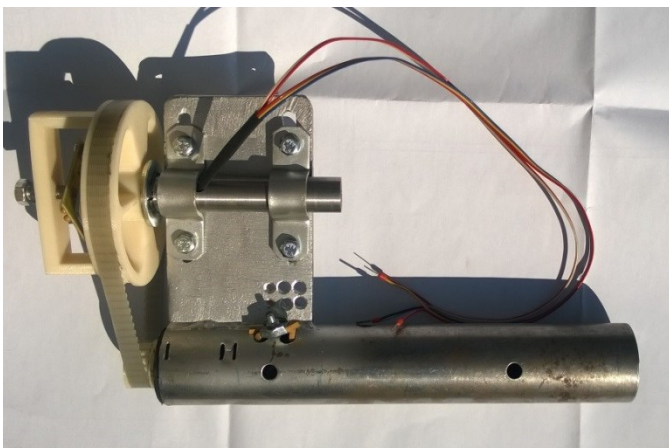


Obr.:4.2.1.3: Demonstrační volantová soustava

Pro upevnění snímače je vyroben úchyt, vycházející z řešení volantu. Daný úchyt je pevně přivařen ke krytu hřídele volantu. Úchyt dovoluje dopínat řemen, aby nedocházelo k jeho prokluzování. Také je možno posouvat s hřídelí snímače v podélném směru tak, aby byla zajištěna maximální souosost ozubeného převodu.



Obr.:4.2.1.4, 5: Uchycení snímacího mechanismu na stavitelnou hřídel



Obr.:4.2.1.6: Mechanismus měření natočení volantu

Vracení volantu, a vymezení počtu otáček zajišťuje soustava gum přiřepněných na volantovou tyč zapouzdřenou do krytu hřídele. Na konci hřídele volantu je přichyceno menší převodové kolo, zajištěné proti prokluzování pomocí tří jisticích červíků.

Celou tuto část demonstrační soustavy je možno namontovat jako jeden celek do vozidla. Je plně stavitelná a přidané mechanismy nezasahují nijak do konstrukce vozidla. Výstupem z této soustavy je výstupní lineární napětí ze snímače AM4096, které je přiváděno do řídicí jednotky.



Obr.:4.2.1.7, 8: Volantová část demonstrační soustavy

4.2.2. Uchycení snímače kol

Uchycení snímače kol je provedeno obdobně jako uchycení snímače volantu. Je zde kladen důraz na možnost osového i bočního pohybu pro maximální přesnost nastavení souososti převodu. Mechanismus snímání natočení přední nápravy je připevněn k části demonstrační soustavy přední nápravy.



Obr.:4.2.2.1: Demonstrační soustava přední nápravy

Upevnění menšího ozubeného kola je provedeno na přírubu převodovky nápravy, kde dochází k nejmenším zákmitům a otřesům v celé soustavě. Uchycení je provedeno pomocí tří červíků. Pro uchycení hřídele s mechanismem snímače byl sestaven úchyt připevněn k přední nápravě pomocí závitových tyčí, nosné stavitelné konstrukce a objímek.



Obr.:4.2.2.2: Uchycení čidla přední nápravy

4.3.Pohon

Pohon je sestaven ze dvou částí a to motoru a převodovky motoru. Motor je zde použit stejnosměrný motor typu EC180.120 S2 25' a planetová převodovka typ P52AS60. Parametry pohonu viz. kap. 3.6.3.



Obr.:4.3.1:Pohon

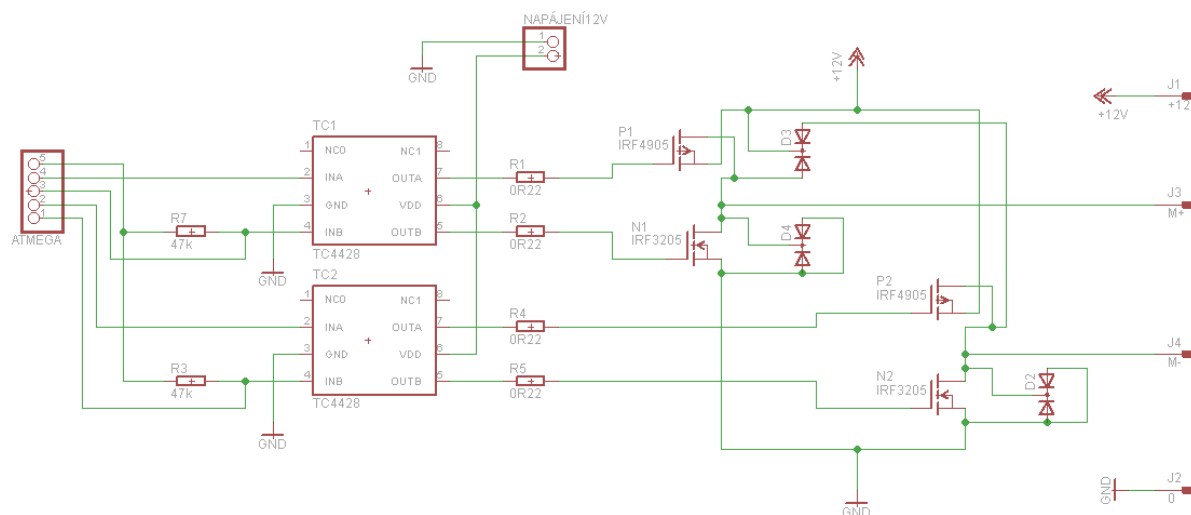
Pro testování a simulaci funkčnosti této bakalářské práce byla sestavena demonstrační soustava přední nápravy. Přední náprava byla použita z automobilu Škoda Favorit. K nosné desce demonstrační soustavy je připevněn motor natáčení přední nápravy s možností souosého nastavení.



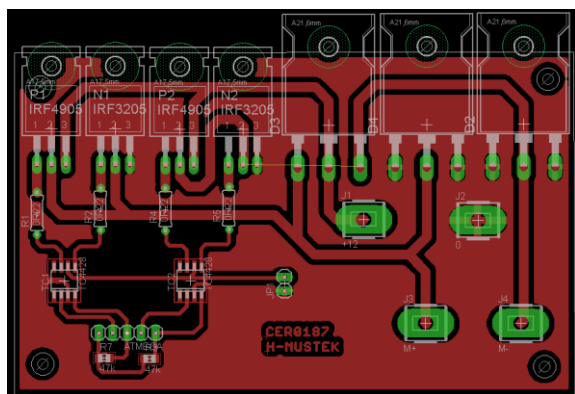
Obr.:4.3.2, 3: Demonstrační soustava část přední nápravy

4.3.1. Řízení pohonu

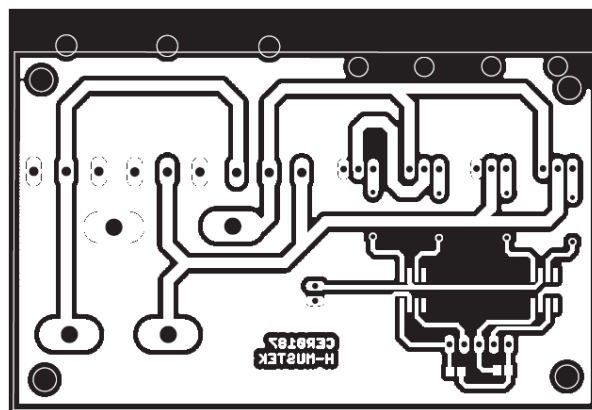
Pro řízení pohonu je použit vytvořený H-můstek sestavený ze 4 tranzistorů, dvou s kanálem N a dvou s kanálem P. Řízení je prováděno signálem PWM a směr napájení motoru je řízen čtyřmi binárními vstupy pro ovládání každého tranzistoru. Směr se ovládá tranzistory vždy do uhlopříčky. *Viz příloha Plošný spoj H-můstku*



Obr.:4.3.1.1: Schéma plošného spoje H-můstku



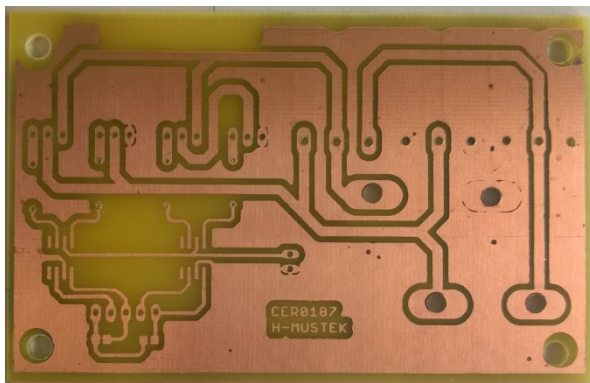
Obr.:4.3.1.2: Návrh plošného spoje H-můstku



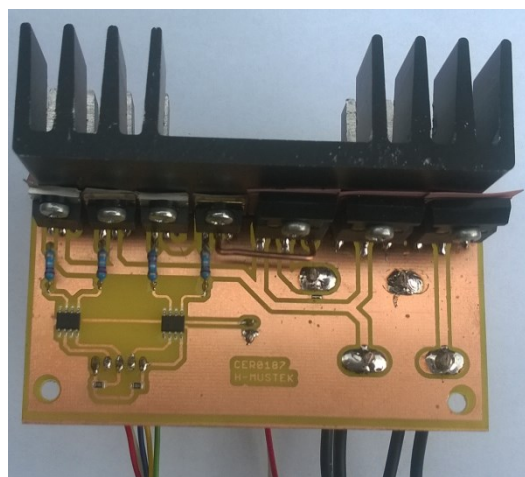
Obr.:4.3.1.3: Maska plošného spoje H-můstku

Použité součástky pro plošný spoj H-můstku

- | | |
|-------------------------|----|
| - Mosfet tranzistor (N) | 2x |
| - Mosfet tranzistor (P) | 2x |
| - Dvojitá dioda | 3x |
| - MOSFET Driver TC4428 | 2x |
| - Odpor 47kΩ | 2x |
| - Odpor 22Ω | 4x |



Obr.:4.3.1.4: Neosazený plošný spoj H-můstku



Obr.:4.3.1.5: Osazený plošný spoj H-můstku

Ovládání pohonu

Určuje spínání a rozpínání tranzistorů z pohledu výstupů z ATmega a vstupů do H-můstku.

Význam použitých zkratek v tabulce:

V...adcVolant

N...adcNaprava

Z...stav vysoké impedance

0...GND

1...+5VDC

127,5...hodnota odpovídající střední poloze senzorů tj. napětí 2,75V

Tab.4.3.1.1:Ovládání pohonu

| Stav čidel | ATmega | Pin6 | Pin5 | Pin4 | Pin3 |
|------------|------------|------|------|------|------|
| | H-můstek | In4 | In3 | In2 | In1 |
| | Tranzistor | P1 | N1 | P2 | N2 |
| V<N | | 1 | 0 | 0 | Z |
| V>N | | 0 | Z | 1 | 0 |
| V=N | <127,5 | 1 | 0 | 0 | Z |
| | >127,5 | 0 | Z | 1 | 0 |
| | =127,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |

4.3.2. Mechanické spojení pohonu

Vybrané typy napojení hřídele planetové převodovky na přírubu převodovky řízení:

Ozubený řemen

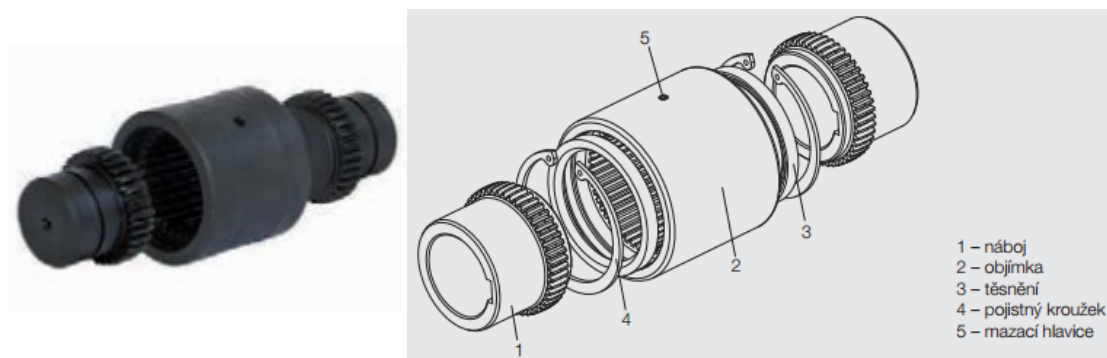
Převod pomocí ozubeného řemene s poměrem řemenic 1:1. Řemen musí být dopínán, aby nedocházelo k jeho velkému průvěsu a tím k ztrátám v převodu. Z důvodu obousměrného točení kol je obtížné umístit na řemen běžný řemenný napínák. Musí být napínaná celá jedna převodová část. Jelikož převodovka řízení je upevněna napevno, tak musí být dopínáný motor s planetovou převodovkou. Toto napínání je nejvhodnější provést upevněním motoru na pohyblivé sáně, které by se dopínaly.

Ozubená kola

Převedení sil pomocí převodových kol je přesnější než při použití řemenu. Nejlepší by bylo použití kol se šípovým ozubením, ale jen v případě, že by probíhalo otáčení jen jedním směrem. V případě oboustranného otáčení je nejvhodnější použít přímé ozubení. Při převodu ozubenými koly se ovšem změni směr otáčení převodovky řízení oproti směru otáčení motoru. Tato změna by se pouze vzala v úvahu v použitém software.

Zubová spojka

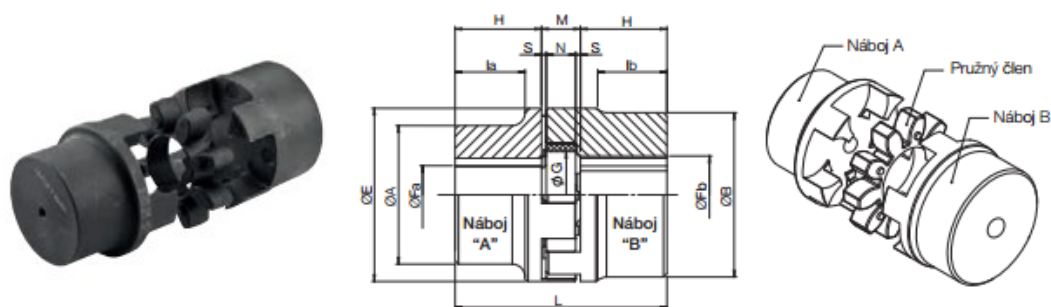
Použití zubové spojky je velmi efektivní a vhodné řešení. Při převodu 1:1 je možné tuto spojku bez problémů použít. Její uložení umožňuje mírný pohyb a mírnou souosost, což je velmi praktické pro tuto problematiku.



Obr.:4.3.2.1, 2: Zubová spojka [19]

Pružná spojka

Pružná spojka má podobné vlastnosti a přednosti jako spojka zubová, ale navíc má velkou výhodu v rychlé a snadné výměně pružného spoje, který umožňuje různě velké nesouososti v závislosti na použitém materiálu. Pro naše použití je nejlepší počítat s větší nesouosostí proto měkká spojka.



Obr.:4.3.2.3, 4: Pružná spojka [19]

Pro přenášení námi požadovaných parametrů a pro dané průměry hřídelí je nejvhodnější použít dvou nábojů typu A nejměkčího pružného členu.



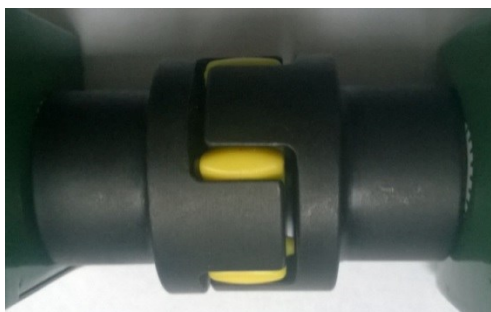
Obr.:4.3.2.5: Náboj A



Obr.:4.3.2.6: Pružný člen



Obr.:4.3.2.7, 8: Sestavený pružný spoj



Upevnění hřídelí ke spojce

Upevnění hřídele převodovky motoru k převodu mezi hřídeli bude provedeno pomocí péra, které je připevněné na hřídeli převodovky motoru.

Upevnění mezi přírubou převodovky a spojnou částí je možno provést několika způsoby:

1. Čepem
2. Červíkem
3. Pérem
4. Ozubením
5. Přivařením

Provedení spojení čepem, červíkem je nevhodné, protože zeslabení hřídele by mohlo vést až k jejímu prasknutí při provozu.

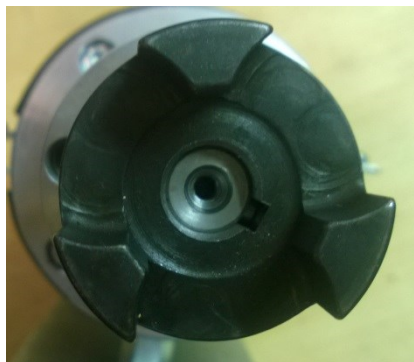
Spojení pomocí stávajícího ozubení by bylo možné, ovšem poměrně náročné na výrobu protikusu ozubení. Jedná se o automobilový tisícíhran, který je těžko nahraditelný.

Spojení svařením je nejefektivnější, ovšem nerozebíratelné spojení.

Po zvážení všech možností bylo vybráno spojení pomocí péra stejně, jako je tomu u spoje s převodovkou. Toto spojení neoslabí materiál natolik, aby praskl, a zároveň je rozebíratelné,



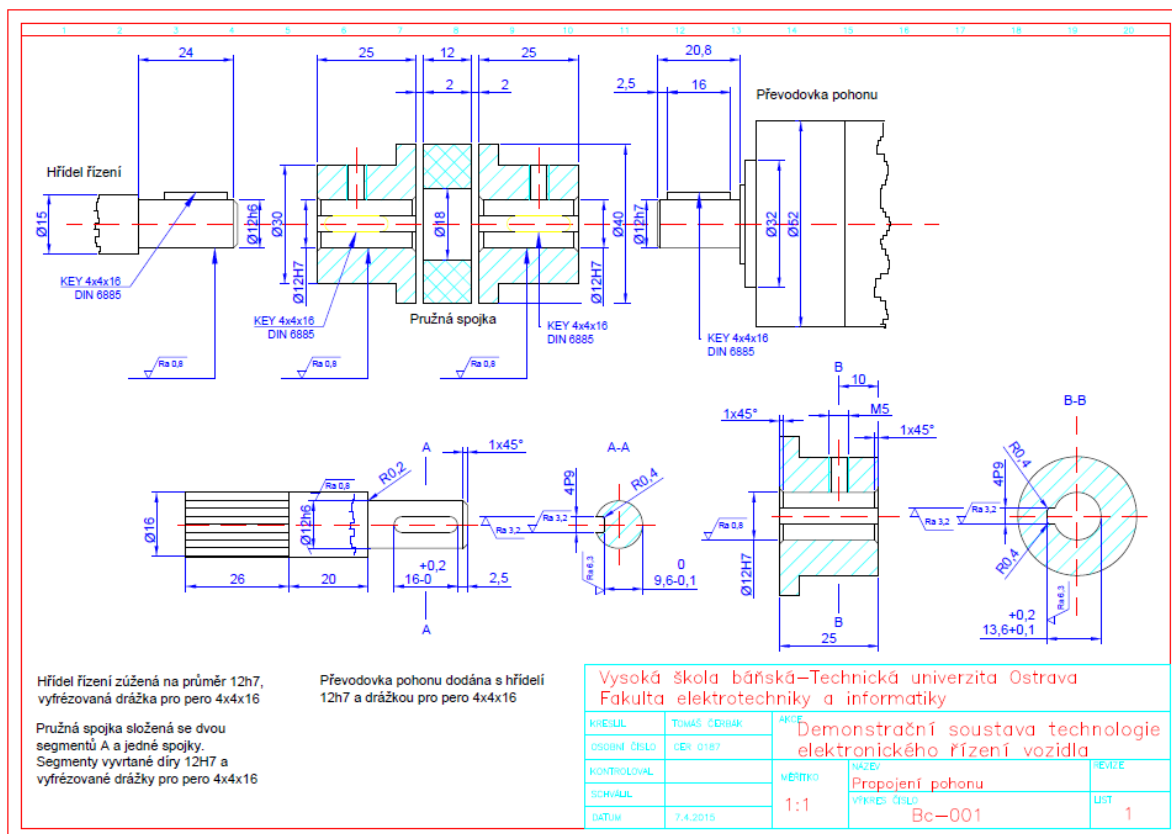
Obr.:4.3.2.9: Spojení hřídele nápravy



Obr.:4.3.2.10: Spojení hřídele převodovky

Spojení pohonu

Spojení pohonu je realizováno na nápravové části demonstrační soustavy. Náprava s převodovkou nápravy končí přírubou převodovky řízení. Na tuto převodovku řízení je připevněn kloub volantové tyče. K tomuto kloubu je na tisícíhnan přichycen upravený kus volantové tyče se zúžením a drážkou na péro. Tento kus je propojen s nábojem pružné spojky a druhý náboj pružné spojky je přichycen k převodovce pohonu.



Obr.:4.3.2.11: Propojení pohonu výkres



Obr.:4.3.2.12: Propojení pohonu

4.4.Demonstrační soustava steer by wire

Demonstrační soustava se skládá ze soustavy přední nápravy, která obsahuje přední nápravu spojenou s motorem řízení nápravy. Na nápravu je připevněn snímač natočení přední nápravy. Tato soustava má výstupy pro motor a výstupy pro čidlo. Další je soustava volantu, která se skládá z volantu a čidla volantu, které je na něm přichyceno. Tato soustava má výstup pro snímač.

Na soustavě volantu je také přichycen plošný spoj ATmega a H-můstek.

Propojením čidel, ATmegy, H-můstku a motoru je sestavena Demonstrační soustava steer by wire, která je připojena ke zdrojům stejnosměrného napětí v hladinách 5V a 12V.



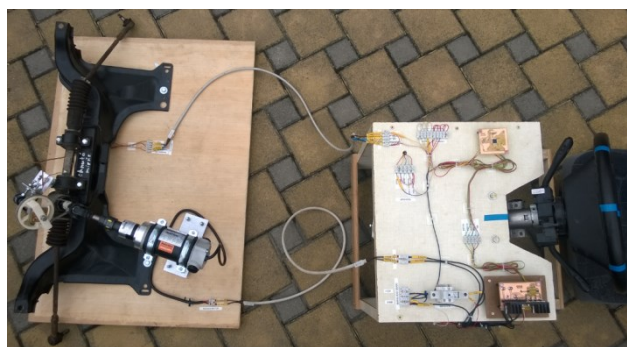
Obr.:4.4.1: Demonstrační soustava steer by wire s boku



Obr.:4.4.2: Demonstrační soustava steer by wire se shora panel řízení



Obr.:4.4.3: Demonstrační soustava steer by wire se předu



Obr.:4.4.4: Demonstrační soustava steer by wire se shora

5. Návrh a realizace experimentů

Experimentální část ověřuje funkčnost a správnost demonstrační soustavy. Základním prvkem k otestování je pohon. Pohon musí mít dostatečnou sílu a rychlost, aby byl schopný zatáčet nápravou co nejrychleji a také, aby byl schopen utočit nápravu při velkém tření a nulové rychlosti. V reálném provozu může nastat případ popojíždění po parkovišti a koly se z boku opřít o kraj obrubníku a i v tomto případě musí být pohon schopen pohybovat koly.

Pro ověření správně zvolených parametrů pohonu je sestaveno měření, které ověří potřebné vlastnosti pohonu.

Demonstrační náprava nemá kola, proto je zatížení vozidla a tření kol simulováno závažím připevněným na příčném táhle řízení nápravy přes kladku. Hmotnost břemene se mění a tím se zjišťuje schopnost natáčení nápravy v závislosti na takto působeném odporu. Pro zjištění dynamiky pohonu je měřen čas a porovnáván s reálným časem natočení volantu.

Při měření na demonstrační soustavě, i v technologii steer by wire, odpadá mechanická vazba a tím i odpor volantu. V důsledku tohoto dochází ke zvýšení rychlosti točení volantem. Toto měření proto porovnává rychlost natáčení nápravy jak u volantu s mechanickou vazbou, tak i bez ní.

Při měření se také zjišťuje i schopnost otáčení kol při různém vstupním napětí, čímž se simuluje plynulá regulace. Na základě tohoto měření je přesně vyladěn program, který řídí celou demonstrační soustavu.

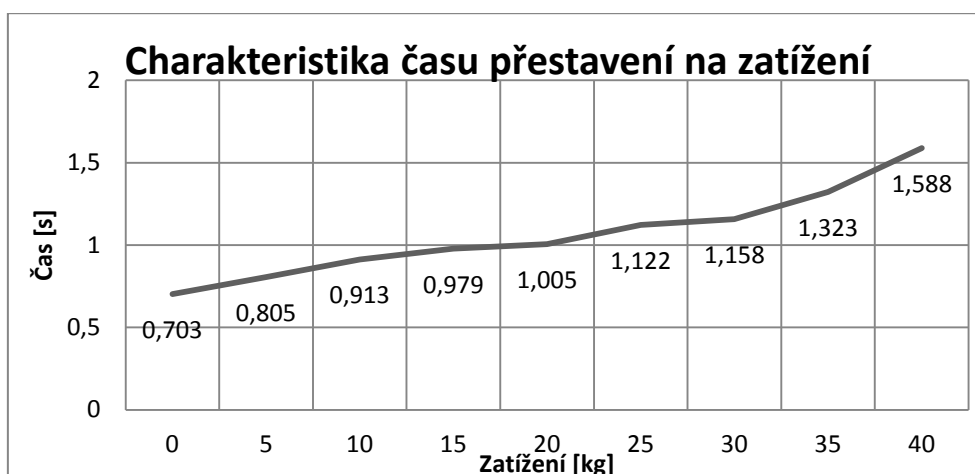
Tab.:5.1: Měření síly a dynamiky pohonu

| Zatížení [kg] | Střída 50:50 | | | | | | | |
|------------------|--------------|---------|--------------|---------|---------------|---------|-------------------------------------|------------------|
| | První měření | | Druhé měření | | Průměr měření | | Rychlost [mm · s ⁻¹] | Otáčky [ot/s] |
| | Proud [A] | Čas [s] | Proud [A] | Čas [s] | Proud [A] | Čas [s] | | |
| 0 | 8,9 | 0,686 | 8,8 | 0,719 | 8,85 | 0,703 | 182,1 | 4,8 |
| 5 | 11,5 | 0,939 | 12,6 | 0,670 | 12,1 | 0,805 | 159 | 4,2 |
| 10 | 12,4 | 1,042 | 12,9 | 0,784 | 12,7 | 0,913 | 140,2 | 3,7 |
| 15 | 11,3 | 0,974 | 10,8 | 0,731 | 11,1 | 0,856 | 149,5 | 3,9 |
| 20 | 11,2 | 0,845 | 13,1 | 0,802 | 12,2 | 0,824 | 155,3 | 4,1 |
| 25 | 12,1 | 1,270 | 12,7 | 0,974 | 12,4 | 1,122 | 114,1 | 3 |
| 30 | 15,8 | 1,105 | 13,0 | 1,210 | 14,4 | 1,158 | 110,5 | 2,9 |
| 35 | 14,9 | 1,182 | 15,5 | 1,464 | 15,2 | 1,323 | 96,7 | 2,6 |
| 40 | 15,1 | 1,292 | 19,9 | 1,884 | 17,5 | 1,588 | 80,6 | 2,1 |

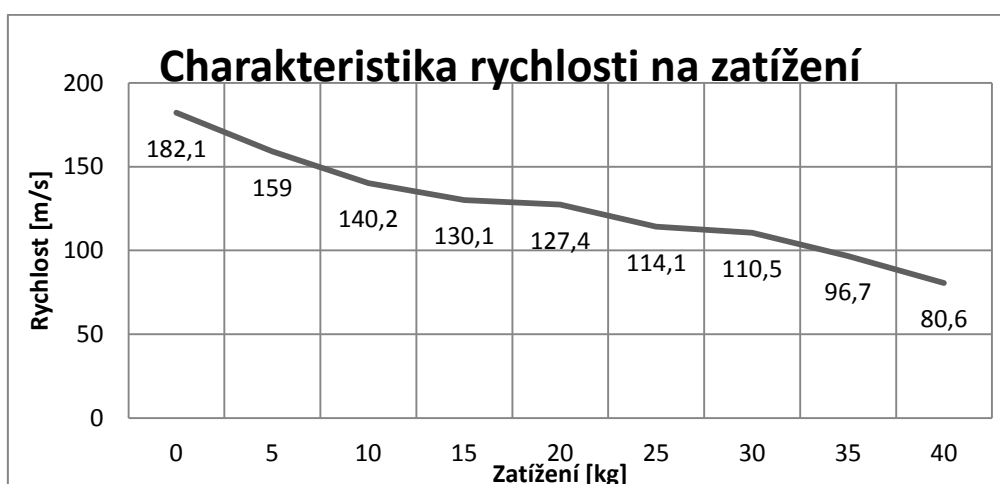
Toto měření bylo prováděno pomocí kladky se závažím. Proud byl měřen klešťovým ampérmetrem VEMER VE2606 výrobní číslo 301390. Čas byl zaznamenáván stopkami, proto zde může docházet k odchylce měření z důvodů chyby metody. Pro prokázání funkčnosti však tato metoda postačovala. Zatížení je pro přehlednost uváděno v kg.



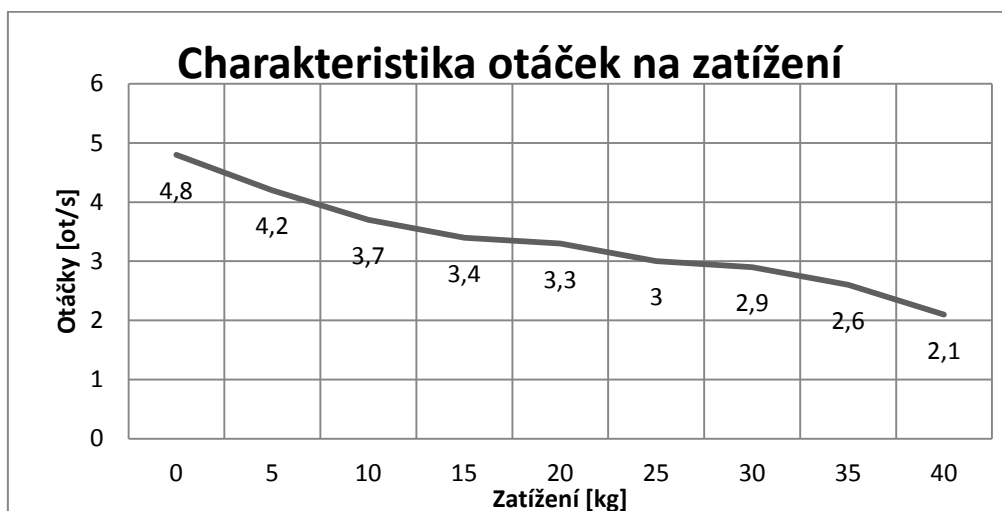
Obr.:5.1: Charakteristika proudu na zatížení



Obr.:5.2: Charakteristika času přestavení na zatížení



Obr.:5.3: Charakteristika rychlosti na zatížení



Obr.:5.4: Charakteristika otáček na zatížení



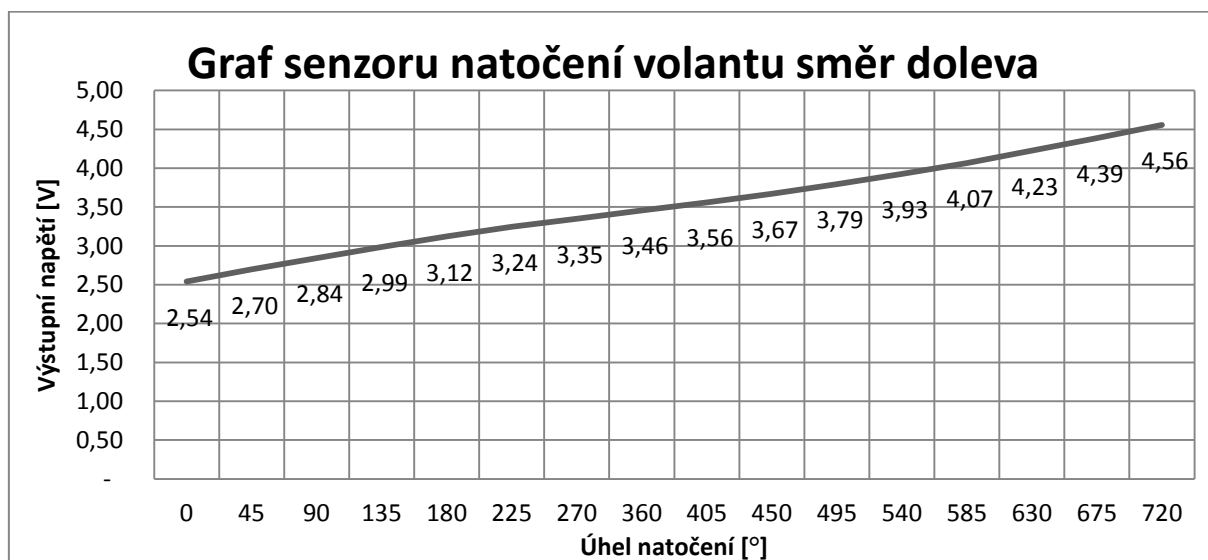
Obr.:5.5: Měření síly a dynamiky motoru

Přesné ovládání natáčení nápravy záleží na správném nastavení senzorů. Použité senzory musí být nastaveny na středu řídicí a řízené soustavy. Používá se napájení 5V, proto hodnota přímého směru jízdy je 2,5V výstupu z čidel. Oba senzory jsou napájeny stejnou hodnotou napětí, rovněž je provedeno shodné nastavení mezi výstupního napětí RefN a RefP, proto i hodnoty výstupních napětí pro daný úhel natočení snímačů je shodný. Rozdíl je ovšem v uložení senzorů. Jsou vůči sobě uloženy v opačné poloze, což znamená, že otáčení shodným směrem jeden senzor vyhodnocuje jako napět'ový přírůst a druhý jako napět'ový úbytek. Tento jev je ošetřen v programu, tak aby hodnota natočení nápravy byla obrácená.

Pro ověření správné funkčnosti čidel v celém rozsahu je provedeno měření, které zjistí přesné hodnoty napětí v závislosti na úhlu natočení volantové soustavy i soustavy nápravy.

Tab.:5.1.2:Měření výstupního napětí senzoru volantu pro směr doleva

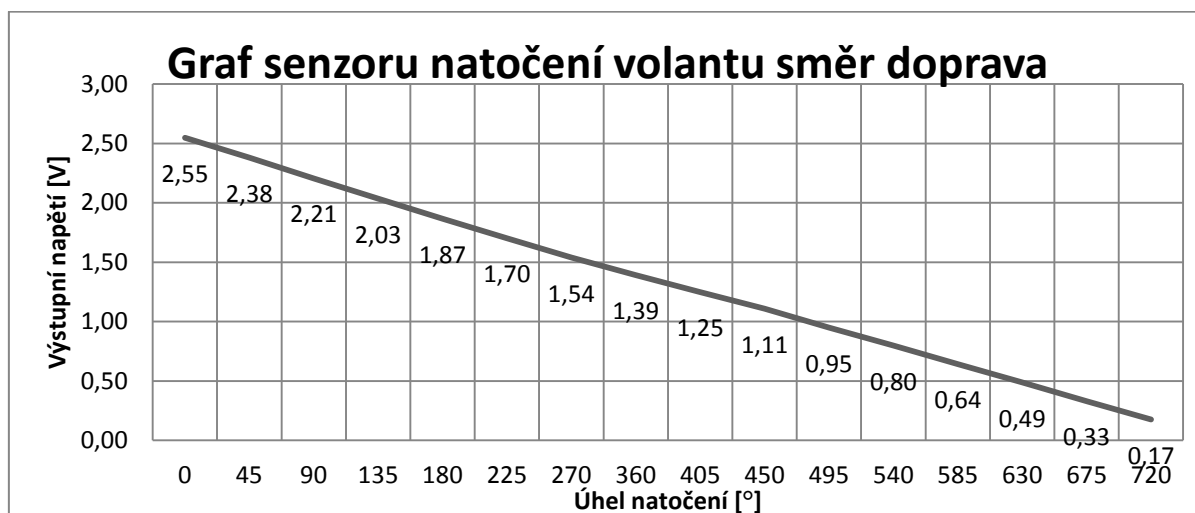
| Úhel natočení doleva [°] | Naměřená hodnota napětí [V] | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|--------------|
| | Měření 1 | Měření 2 | Měření 3 | Měření 4 | Průměr |
| 0 | 2,559 | 2,530 | 2,548 | 2,524 | 2,542 |
| 45 | 2,719 | 2,684 | 2,705 | 2,680 | 2,697 |
| 90 | 2,862 | 2,829 | 2,849 | 2,823 | 2,841 |
| 135 | 3,004 | 2,984 | 2,985 | 2,967 | 2,985 |
| 180 | 3,133 | 3,118 | 3,127 | 3,110 | 3,122 |
| 225 | 3,264 | 3,237 | 3,243 | 3,235 | 3,245 |
| 270 | 3,357 | 3,349 | 3,349 | 3,343 | 3,350 |
| 360 | 3,471 | 3,448 | 3,461 | 3,450 | 3,457 |
| 405 | 3,575 | 3,554 | 3,563 | 3,549 | 3,560 |
| 450 | 3,689 | 3,661 | 3,671 | 3,656 | 3,669 |
| 495 | 3,818 | 3,788 | 3,791 | 3,778 | 3,793 |
| 540 | 3,956 | 3,910 | 3,936 | 3,900 | 3,925 |
| 585 | 4,090 | 4,050 | 4,070 | 4,050 | 4,065 |
| 630 | 4,240 | 4,210 | 4,230 | 4,220 | 4,225 |
| 675 | 4,410 | 4,380 | 4,380 | 4,380 | 4,387 |
| 720 | 4,580 | 4,550 | 4,550 | 4,540 | 4,555 |



Obr.:5.6: Graf senzoru natočení volantu směr doleva

Tab.:5.1.3:Měření výstupního napětí senzoru volantu pro směr doprava

| Úhel natočení doprava [°] | Naměřená hodnota napětí [V] | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|--------------|
| | Měření 1 | Měření 2 | Měření 3 | Měření 4 | Průměr |
| 0 | 2,531 | 2,552 | 2,518 | 2,590 | 2,547 |
| 45 | 2,365 | 2,399 | 2,365 | 2,397 | 2,381 |
| 90 | 2,208 | 2,211 | 2,201 | 2,205 | 2,206 |
| 135 | 2,030 | 2,047 | 2,027 | 2,035 | 2,034 |
| 180 | 1,860 | 1,880 | 2,849 | 1,871 | 2,115 |
| 225 | 1,699 | 1,713 | 1,687 | 1,705 | 1,701 |
| 270 | 1,540 | 1,544 | 1,533 | 1,543 | 1,540 |
| 360 | 1,384 | 1,404 | 1,383 | 1,397 | 1,392 |
| 405 | 1,255 | 1,253 | 1,237 | 1,247 | 1,248 |
| 450 | 1,102 | 1,117 | 1,098 | 1,112 | 1,107 |
| 495 | 0,944 | 0,958 | 0,944 | 0,949 | 0,948 |
| 540 | 0,788 | 0,812 | 0,794 | 0,799 | 0,798 |
| 585 | 0,638 | 0,653 | 0,634 | 0,640 | 0,641 |
| 630 | 0,478 | 0,502 | 0,481 | 0,490 | 0,487 |
| 675 | 0,340 | 0,336 | 0,319 | 0,324 | 0,329 |
| 720 | 0,171 | 0,186 | 0,166 | 0,175 | 0,174 |



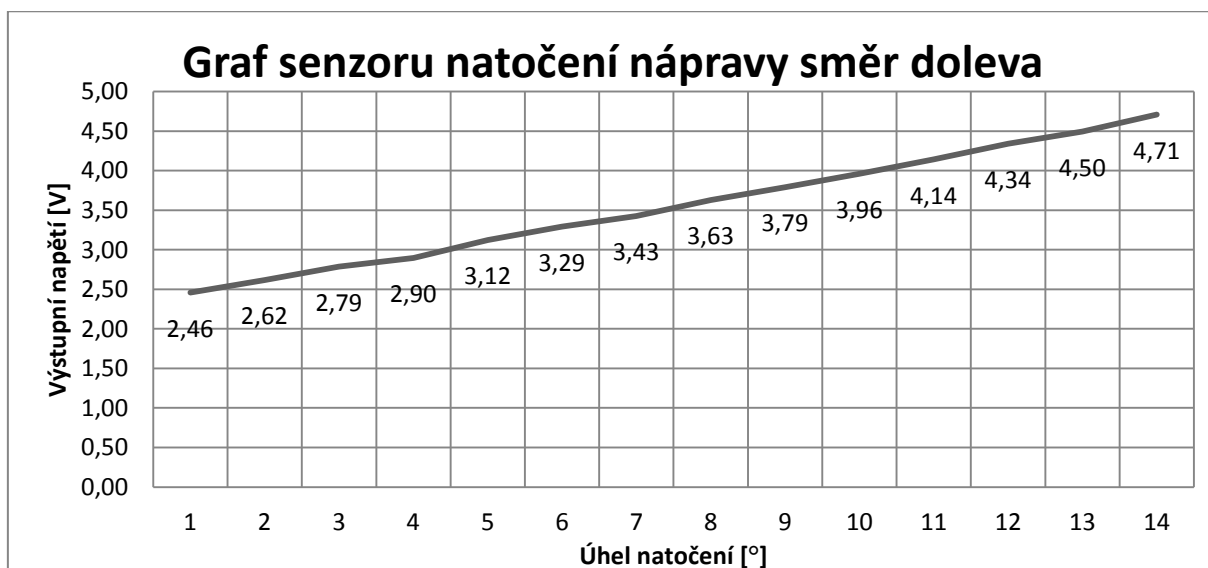
Obr.:5.7: Graf senzoru natočení volantu směr doprava



Obr.:5.8: Měření výstupního napětí senzoru nápravy

Tab.:5.1.4:Měření výstupního napětí senzoru nápravy pro směr doleva

| Úhel natočení doleva [°] | Naměřená hodnota napětí [V] | | | | Průměr |
|-----------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|--------------|
| | Měření 1 | Měření 2 | Měření 3 | Měření 4 | |
| 0 | 2,463 | 2,453 | 2,465 | 2,453 | 2,458 |
| 45 | 2,615 | 2,605 | 2,634 | 2,613 | 2,616 |
| 90 | 2,821 | 2,763 | 2,816 | 2,748 | 2,787 |
| 135 | 2,895 | 2,906 | 2,883 | 2,90 | 2,916 |
| 180 | 3,178 | 3,104 | 3,135 | 3,067 | 3,121 |
| 225 | 3,364 | 3,243 | 3,327 | 3,238 | 3,293 |
| 270 | 3,508 | 3,388 | 3,395 | 3,417 | 3,427 |
| 360 | 3,652 | 3,618 | 3,636 | 3,614 | 3,630 |
| 405 | 3,809 | 3,783 | 3,791 | 3,782 | 3,791 |
| 450 | 3,980 | 3,940 | 3,970 | 3,950 | 3,960 |
| 495 | 4,140 | 4,150 | 4,170 | 4,110 | 4,142 |
| 540 | 4,350 | 4,310 | 4,360 | 4,340 | 4,340 |
| 585 | 4,540 | 4,470 | 4,490 | 4,480 | 4,495 |
| 630 | 4,690 | 4,720 | 4,720 | 4,710 | 4,710 |

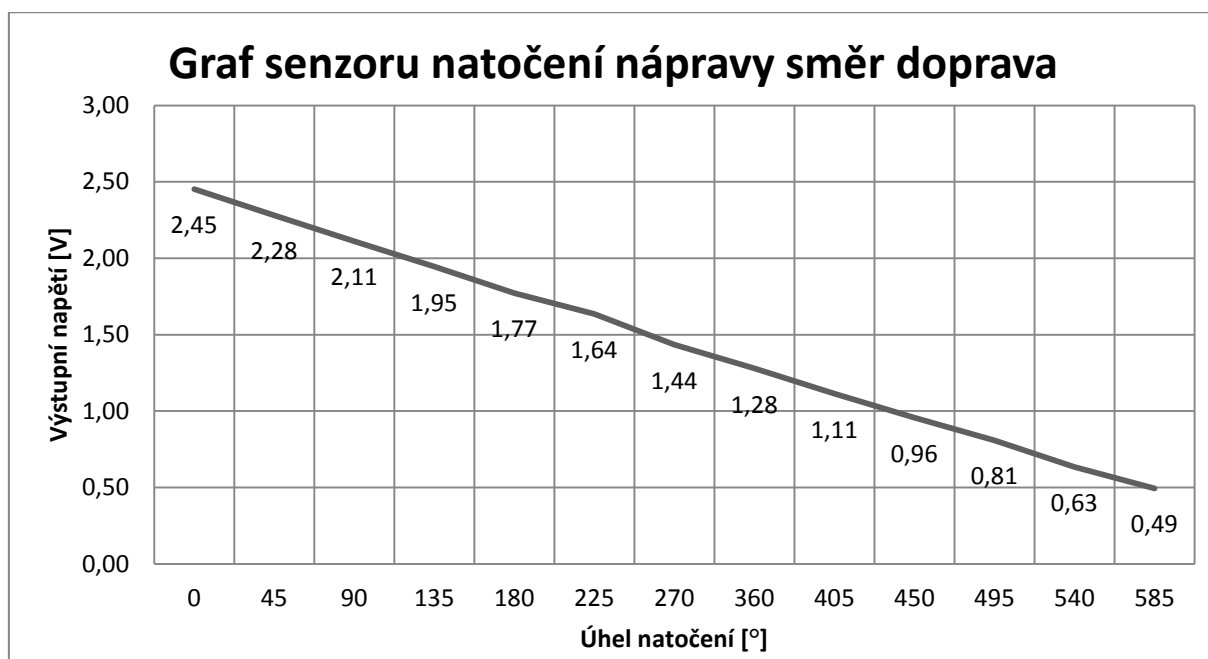


Obr.:5.9: Graf senzoru natočení nápravy směr doleva

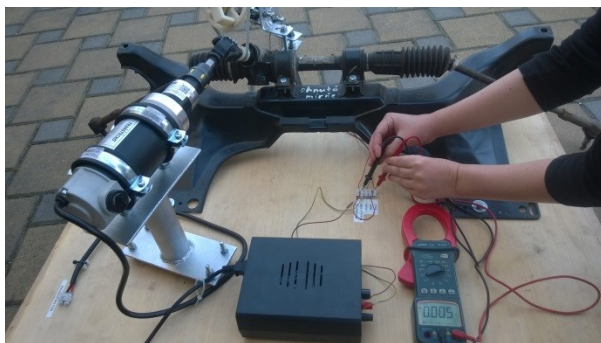
Tab.:5.1.5:Měření výstupního napětí senzoru nápravy pro směr doprava

| Úhel natočení doprava [°] | Naměřená hodnota napětí [V] | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|--------------|
| | Měření 1 | Měření 2 | Měření 3 | Měření 4 | Průměr |
| 0 | 2,440 | 2,457 | 2,452 | 2,463 | 2,453 |
| 45 | 2,263 | 2,294 | 2,274 | 2,296 | 2,281 |
| 90 | 2,115 | 2,123 | 2,090 | 2,118 | 2,111 |
| 135 | 1,931 | 1,937 | 1,929 | 1,986 | 1,945 |
| 180 | 1,730 | 1,772 | 1,785 | 1,804 | 1,772 |
| 225 | 1,612 | 1,654 | 1,625 | 1,651 | 1,643 |
| 270 | 1,420 | 1,421 | 1,434 | 1,467 | 1,435 |
| 360 | 1,258 | 1,288 | 1,279 | 1,290 | 1,278 |
| 405 | 1,122 | 1,147 | 1,093 | 1,097 | 1,114 |
| 450 | 0,940 | 0,954 | 0,974 | 0,959 | 0,956 |
| 495 | 0,815 | 0,790 | 0,802 | 0,829 | 0,809 |
| 540 | 0,620 | 0,631 | 0,648 | 0,639 | 0,634 |
| 585 | 0,498 | 0,482 | 0,501 | 0,498 | 0,494 |

Tato měření byla provedena opakovaně pro každou soustavu, aby se zjistila přesná hodnota napětí pro daný úhel natočení. Všechna měření byla napájena stabilizovaným zdrojem napětí a měření prováděno multimetrem VEMER VE2606 výrobní číslo 301390.



Obr.:5.8: Graf senzoru natočení nápravy směr doprava



Obr.:5.9: Měření výstupního napětí senzoru nápravy

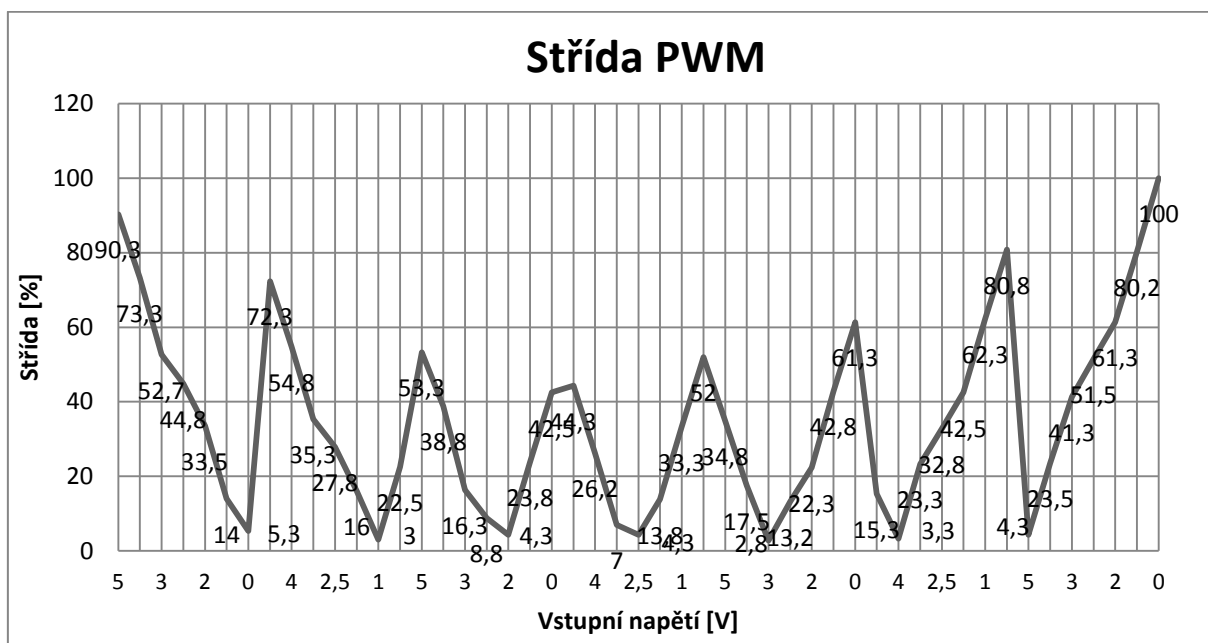
Základní požadavkem pro regulaci pohonu natočení přední nápravy, tj. směru jízdy, je shoda výstupních hodnot snímače otočení volantu a snímače natočení přední nápravy. Pro pohon natočení přední nápravy je použit stejnosměrný motor, jehož základními vlastnostmi jsou změna výstupních otáček v závislosti na napájecím napětí a minimální pokles otáček při změně zatížení. Na základě těchto vlastností pohonu natočení kol byl vypracován i program řízení a to tak, že velikost napájecího napětí motoru, která je úměrná PWM výstupu z řídicí jednotky, je závislá na absolutní hodnotě rozdílu hodnot obou snímačů. S rostoucím rozdílem hodnot snímačů se zvyšuje výstupní napětí H-můstku a tím i otáčky motoru, tj. rychlost natáčení přední nápravy. Polarita výstupního napětí H-můstku, tj. i směr natáčení nápravy, je spínána řídicím systémem na základě porovnávání okamžitých hodnot obou snímačů. Zvyšující se rychlostí natáčení nápravy při zvětšujícím se rozdílu hodnot snímačů je zajištěna dynamika pohonu natáčení přední nápravy. Naopak malou rychlostí motoru pohonu natáčení nápravy při velmi malém rozdílu hodnot snímačů je zajištěna plynulost jízdy, resp. nebude docházet k překmitům regulační křivky.

Tab.:5.1.6:Měření výstupního napětí a směru natáčení nápravy

| Napětí senzorů [V] | | Střída PWM | Stav pinů pro směr | | | |
|--------------------|---------|------------|--------------------|----|----|----|
| Volant | Náprava | | P1 | N1 | P2 | N2 |
| 5 | 5 | 90,3 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 4 | 73,3 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 3 | 52,7 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 2,5 | 44,8 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 2 | 33,5 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 1 | 14 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 0 | 5,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| 4 | 5 | 72,3 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 4 | 54,8 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 3 | 35,3 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 2,5 | 27,8 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 2 | 16 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 0 | 22,5 | 0 | 0 | 1 | Z |
| 3 | 5 | 53,3 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 4 | 38,8 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 3 | 16,3 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 2,5 | 8,8 | 1 | Z | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|-----|-----|------|---|---|---|---|
| | 2 | 4,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 1 | 23,8 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 0 | 42,5 | 0 | 0 | 1 | Z |
| 2,5 | 5 | 44,3 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 4 | 26,2 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 3 | 7 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 2,5 | 4,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 2 | 13,8 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 1 | 33,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 0 | 52 | 0 | 0 | 1 | Z |
| 2 | 5 | 34,8 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 4 | 17,5 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 3 | 2,8 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 2,5 | 13,2 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 2 | 22,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 1 | 42,8 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 0 | 61,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| 1 | 5 | 15,3 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | 4 | 3,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 3 | 23,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 2,5 | 32,8 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 2 | 42,5 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 1 | 62,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 0 | 80,8 | 0 | 0 | 1 | Z |
| 0 | 5 | 4,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 4 | 23,5 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 3 | 41,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 2,5 | 51,5 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 2 | 61,3 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 1 | 80,2 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | 0 | 100 | 0 | 0 | 1 | Z |

Tímto měřením byla zcela prokázána funkčnost a použitelnost programu. Střída PWM byla měřená v procentech na osciloskopu a pro přesné hodnoty napětí na vstupech ze senzorů byl použit multimetr. Výstupní piny se rovněž měřily pomocí osciloskopu.



Obr.:5.10: Graf střídý PWM

6. Zhodnocení výsledků řešení a experimentů

Technologie drive by wire patří v dnešní době k vyvíjeným a vylepšovaným metodám ovládání vozidel a jiných strojů. V letectví má již své pevné místo, ale na silnicích v běžném provozu má mnoho omezení. Tato technologie má spoustu odvětví, některé jsou již prozkoumány celkem podrobně jako například fly by wire, ale některé stále nesplňují bezpečnostní předpisy a normy. Mezi, jedno z nejsložitějších odvětví tohoto systému patří také steer by wire.

Steer by wire je velmi náročné realizovat z hlediska bezpečnosti provozu. V dnešní době ještě nejsme schopni sestavit naprosto spolehlivý systém, který by se plně vyrovnal bezpečnosti pevné mechanické vazby. Tento problém je asi tou největší překážkou a dosavadní největší nevýhodou tohoto systému. Stávající legislativa rovněž neumožňuje nasazení do běžného silničního provozu.

Systém steer by wire má ovšem i spoustu výhod. Mezi tyto výhody patří zrušení mechanické vazby mezi volantem a nápravou, díky čemuž na volantu nejsou žádné ořesy a rázy, odpor volantu je zcela volitelný. Nasazením systému steer by wire přibude prostor pod kapotou vozidla, prostorová úspora není nikterak velká, ale v automobilovém průmyslu se počítá každý centimetr krychlový.

6.1. Zhodnocení výsledků řešení

Jak už bylo uvedeno výše, tato technologie nabízí velkou škálu možností a variant. Má bakalářská práce řeší technologii steer by wire. Tato práce řeší pouze demonstrační soustavu, na které je simulována uvedená technologie. V bakalářské práci není zahrnuto bezpečnostní řešení, které by zohlednilo veškeré možnosti poruchových stavů systému a současně splňovalo všechny předpisy a normy k běžnému provozu na komunikacích.

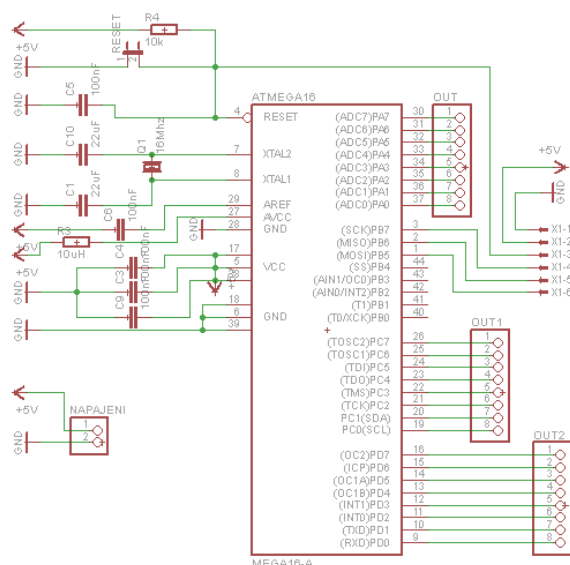
Demonstrační soustava je sestavena se zakoupených dílů automobilů Škoda a sestavených podle vzoru skutečného vozidla KAIPAN VoltAge, na kterém byla prováděna potřebná výchozí měření. Jednotlivé části demonstrační soustavy jsou připevněny k sestaveným nosným panelům, tak aby mohla být ověřovaná jejich použitelnost u skutečného vozidla.

Řídící jednotka

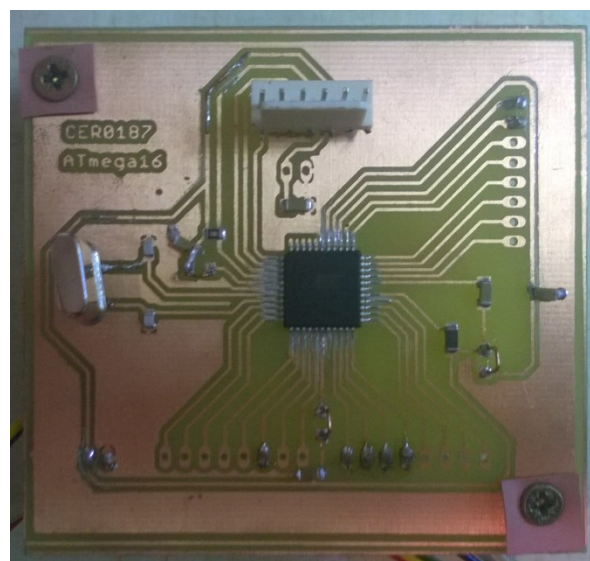
Zvolená řídící jednotka ATmega16 je dostačující pro toto řešení i pro následné vyladování a vylepšování systému. Ovšem tato jednotka má omezené možnosti, které neumožňují vytvoření safety řešení. Její velké výhody jsou nízká pořizovací cena a poměrně snadná implementovatelnost. Tato jednotka také byla vybrána z důvodu skladových zásob katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

Školou propůjčené programátory TINY byly bohužel ve špatném a nefunkčním stavu, z tohoto důvodu jsem si musel obstarat jiný programátor TINY, abych byl schopen nahrát program do řídící jednotky.

Navržený tištěný spoj ATmega16 byl s drobnou chybou a proto bylo nutné ho lehce upravit, aby fungoval správně. Úpravy byly provedeny na stávajícím modulu podle schématu zapojení.



Obr.:6.1.1:Schéma úpravy ATmega16



Obr.:6.1.2:Upravený plošný spoj ATmega16

Pro tento modul byl vytvořen řídicí program v jazyce C v programovacím prostředí AtmelStudio. Na základě hodnot dvou snímačů se vyhodnocuje hodnota vzájemného natočení volantu a nápravy. Na základě tohoto rozdílu hodnot ze snímačů je řízená rychlost a směr pohonu.

Senzory

Použité magnetické senzory AM4096 mají výhodu v přesném měření a možnosti výběru z mnoha výstupních signálů. Jejich velkou nevýhodou je velmi vysoká náročnost na přesnost a provedení uchycení. Poloha magnetu vůči čipu musí být přesná, s odchylkou pouze půl milimetru, což kladě velmi vysoké požadavky na zhotovení snímače. Pro přesné uložení senzoru byl ve 3D programu Inventor navržen rotační modul s ozubením nesoucí magnet. Výrobek byl vytištěn na 3D tiskárně ve školní laboratoři s přesností 0,25mm, což je polovina odchylky pro uložení magnetu vůči čipu a tím se ještě více zvyšují požadavky na přesnost zhotovení a montáž dalších komponentů. Nosná hřídel pro uchycení desky snímače ke konstrukci volantu či nápravy, byla na základě vypracované výkresové dokumentace vyrobena z kovových dílů za použití soustruhu.

Díky přesnému uložení plošného spoje senzoru a nastavení výšky magnetu nad snímačem, bylo docíleno funkčnosti senzoru. Stavitelnost polohy magnetu nad čipem byla zajištěna použitím nerezového šroubu s aretační maticí.

Pro tuto aplikaci by se spíše hodil lankový senzor, který má velmi robustní kryt a nároky na přesnost instalace jsou nesrovnatelně nižší, než u AM4096, který byl vybrán z hlediska skladových zásob katedry kybernetiky a biomedicínského inženýrství.

Pohon

Pro výběr a nadimenzování pohonu byla provedena měření na elektromobilu KAIPAN VoltAge. Po zjištění potřebné dynamiky a síly pohonu byl vybrán a zakoupen pohon od firmy Raveo. Pohon je sestaven s DC motorem a planetové převodovky. Pro pevné a spolehlivé uchycení pohonu byl vyroben úchyt pohonu, který je pevně, ale stavitelně, přichycen k desce demonstrační soustavy. Pevné a přesné spojení pohonu s přírubou převodovky zajišťuje pružná spojka od firmy Habercorn. Ve standardní zakoupené spojce bylo nutné zhotovit otvor pro hřídel a drážku pro uložení pera. Tato úprava byla zhotovená podle vypracované výkresové dokumentace soustružením a frézováním.

Stejnoseměrný motor byl použit na pokyn vedoucího mé bakalářské práce, proto v návrhu nejsou vybírány jiné typy motorů.

H-můstek

H-můstkem je řízen pohon natáčení nápravy. Prvek je navržen jako reverzační zdroj řízení stejnosměrného motoru. Pomocí PWM modulace jsou řízeny otáčky tohoto stejnosměrného motoru.

Původní návrh H-můstku je vytvořen s MOSFET driverem TC4428, který má negovaný jeden výstup pro ovládání tranzistoru P a jeden výstup bez negace pro spínání tranzistoru s kanálem N. Při provádění měření na tomto můstku došlo ke špatnému zapojení vstupních parametrů a tím ke zničení celé komponenty. Z důvodu nedostatku skladových zásob byla TC4428 nahrazena TC4427. Tento driver má oba výstupy bez negace a proto je změněna koncepce řízení. Změna této koncepce je uvedena až zde z důvodu, že tento modul je funkční, ale nemá taková bezpečnostní kritéria jako je tomu u driveru TC4428. Pro ochranu tohoto prvku před zkratem je umístěna před vstupem do soustav ultra rychlá pojistka.

Tab.6.1.1: Ovládání pohonu

| Stav čidel | ATmega | Pin6 | Pin5 | Pin4 | Pin3 |
|------------|------------|------|------|------|------|
| | H-můstek | In4 | In3 | In2 | In1 |
| | Tranzistor | P1 | N1 | P2 | N2 |
| V<N | | 0 | 0 | 1 | Z |
| V>N | | 1 | Z | 0 | 0 |
| V=N | <127,5 | 0 | 0 | 1 | Z |
| | >127,5 | 1 | Z | 0 | 0 |
| | =127,5 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Podle této tabulky byly upraveny výstupy na ATmega16.

```

while(1)

{
    adcVolant = Read_ADC(0);           // Mereni napeti volantu
    adcNapravainverz = Read_ADC(1);    // Mereni napeti naprawy

    adcNaprava=255-adcNapravainverz;    // Otoceni smeru cidla

    _delay_ms(50);                     // cekani 50ms

    // Prepinani smeru tocení volantu
    if (adcVolant<adcNaprava)           // Zataceni doprava
    {
        PORTC |= (1<<PC3);             // Vynulovani vystupu P1

        DDRC |= (1<<PC2);               // Vynulovani vystupu N1
        PORTC &= ~(1<<PC2);

        PORTC |= (1<<PC1);             // Vynulovani vystupu P2

        DDRC |= (1<<PC0);               // Vynulovani vystupu N2
        PORTC &= ~(1<<PC0);

        _delay_us(1);                  // cekani 1 us

        PORTC &= ~(1<<PC3);             // Zapnuti P1
        DDRC &= ~(1<<PC0);              // Stav vzsoke impedance N2

        rozdilCidel=(adcNaprava-adcVolant); // Hodnota PWM
    }

    else
    if (adcVolant>adcNaprava)           // Zataceni doleva
    {
        PORTC |= (1<<PC3);             // Vynulovani vystupu P1

        DDRC |= (1<<PC2);               // Vynulovani vystupu N1
        PORTC &= ~(1<<PC2);

        PORTC |= (1<<PC1);             // Vynulovani vystupu P2

        DDRC |= (1<<PC0);               // Vynulovani vystupu N2
        PORTC &= ~(1<<PC0);

        _delay_us(1);                  // cekani 1 us

        PORTC &= ~(1<<PC1);             // Zapnuti P2
        DDRC &= ~(1<<PC2);              // Stav vzsoke impedance N1

        rozdilCidel=(adcVolant-adcNaprava); // Hodnota PWM
    }
}

```

```

else
    if (adcVolant==adcNaprava)
    {
        if (adcVolant<127)
        {
            PORTC |= (1<<PC3);           // Vynulovani vystupu P1

            DDRC |= (1<<PC2);           // Vynulovani vystupu N1
            PORTC &= ~(1<<PC2);

            PORTC |= (1<<PC1);           // Vynulovani vystupu P2

            DDRC |= (1<<PC0);           // Vynulovani vystupu N2
            PORTC &= ~(1<<PC0);

            _delay_us(1);               // cekani 1 us

            PORTC &= ~(1<<PC3);         // Zapnuti P1
            DDRC &= ~(1<<PC0);         // Stav vzsoke impedance N2

            rozdilCidel=buzeni;         // Nastaveni buzeni
        }

    else
        if (adcVolant>127)
        {
            PORTC |= (1<<PC3);           // Vynulovani vystupu P1

            DDRC |= (1<<PC2);           // Vynulovani vystupu N1
            PORTC &= ~(1<<PC2);

            PORTC |= (1<<PC1);           // Vynulovani vystupu P2

            DDRC |= (1<<PC0);           // Vynulovani vystupu N2
            PORTC &= ~(1<<PC0);

            _delay_us(1);               // cekani 1 us

            PORTC &= ~(1<<PC1);         // Zapnuti P2
            DDRC &= ~(1<<PC2);         // Stav vzsoke impedance N1

            rozdilCidel=buzeni;         // Nastaveni buzeni
        }
}

```

```

else
    if (adcVolant==127)
    {
        PORTC |= (1<<PC3);           // Vynulování výstupu P1

        DDRC |= (1<<PC2);           // Vynulování výstupu N1
        PORTC &= ~(1<<PC2);

        PORTC |= (1<<PC1);           // Vynulování výstupu P2

        DDRC |= (1<<PC0);           // Vynulování výstupu N2
        PORTC &= ~(1<<PC0);

        rozdilCidel=0;               // Rovná jízda
    }

OCR1A = rozdilCidel;               // Hodnota PWM

```

Obr.:4.1.3, 4, 5, 6, 7: Porovnávání různých stavů senzorů a jejich vyhodnocení varianta pro TC4427

U varianty s použitím obousměrného regulátoru napětí DORN by bylo ovládání motoru zajištěno standardně vyráběným modulem, a tedy by nemělo dojít k žádným chybám jako u vyrobeného H-můstku. Obousměrný usměrňovač napětí DORN byl zamítnut vedoucím bakalářské práce z cenových důvodů.

6.2. Zhodnocení experimentů

Pro zjištění funkčnosti jednotlivých prvků a částí demonstrační soustavy byla provedena experimentální měření jednotlivých komponent demonstrační soustavy.

Měření síly a dynamiky pohonu

Při měření dynamiky a síly pohonu byla na nápravu pomocí soustavy kladek zavěšována břemena o známé hmotnosti, která simulovala odpor pohonu natáčení nápravy. Z naměřených časů při různé hmotnosti břemene vyplývá, že pohon je dostatečně silný a rychlý aby byl schopen řídit nápravu. Má také výkonovou rezervu, která zajišťuje rychlou reakci soustavy i v běžných provozních podmínkách a nejen v laboratoři.

Měření výstupního napětí senzorů

V tomto měření se měřily napěťové výstupy senzorů pro určitý úhel natočeného volantu respektive nápravy. Při měření se zjišťovaly konstrukční nepřesnosti úchytů senzorů a upravovaly se tak, aby senzor pracoval správně. Po odstranění nedostatků se změřila celá charakteristika obou senzorů. Oba senzory byly vyladěny a nastaveny tak, aby pracovaly s maximální přesností a nedocházelo k vyosení čipu a magnetu a tím ztráty signálu. Z naměřených tabulek a charakteristik je patrné, že čidla pracují v plném rozsahu plynule.

Tato měření zcela prokázala funkčnost a využitelnost senzorů a také správnou činnost a správnost projekčních podkladů mechanické části nesoucí senzor.

Měření výstupního napětí a směru natáčení nápravy

Měření je prováděno na základě vstupujících hodnot napětí obou snímačů do řídicí jednotky a na základě velikosti rozdílu těchto napětí se měřila střída výstupního napětí na pohon. Na základě rozdílu napětí ze snímačů se měřil i stav výstupních pinů pro ovládání směru pohonu. Naměřené hodnoty stavu pinu ovládání směru se shodují s pravdivostní tabulkou ovládání tranzistorů H-můstku, což dokazuje použitelnost a funkčnost řídicí jednotky a to jak po stránce konstrukční, tak i po stránce softwarové.

7. Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo seznámení se s problematikou steer by wire. Mým úkolem bylo navrhnout a sestavit demonstrační soustavu technologie elektronického řízení vozidla. S touto technologií jsem se nejprve důkladně seznámil, abych byl schopen navrhnout vlastní způsob řešení. Pro seznámení a bližší pochopení problematiky jsem nastudoval práce zabývající se tímto systémem řízení vozidla. Univerzitou Pardubice mi byla umožněna prohlídka jejich vozidla, ve kterém systém steer by wire řídí zadní natáčenou nápravu.

Pro pochopení způsobu řízení a zjištění působících sil při ovládání vozidla jsem podrobil školní elektromobil KAIPAN VoltAge několika testům. Testy a měření vedly ke zjištění potřebné síly a dynamiky k rychlému a přesnému natáčení vozidla. Na základě měření jsem byl schopen správně nadimenzovat pohon natáčení nápravy. Tento prvek je velmi důležitou částí celé soustavy, protože nahrazuje mechanickou vazbu po silové stránce. V případě špatného nadimenzování pohonu by mohlo docházet ke zpoždění natáčení kol, což by mělo za následek ztrátu dobrých jízdních vlastností. Pohon jsem připevnil na přírubu převodovky nápravy pomocí pružné spojky. Provedení spojení jsem vybral z několika variant. Vybraná pružná spojka má mnoho výhod oproti ostatním. Je snadno rozebíratelná, umožňuje poměrně velkou nesouosost a má nízkou pořizovací cenu. V zakoupené spojce jsem nechal vysoustružit potřebný otvor pro hřídel a vyfrézovat drážku pro pero. Způsob uchycení nábojů pružné spojky jsem navrhl tak, aby spoj byl pevný a zaručoval spolehlivý přenos sil. Pro pevné uchycení přední nápravy se Škody Favorit jsem zkonstruoval nosný prvek, ke kterému je také pevně, ale stavitelně přichycen pohon.

Pro přesný návrh a reálnou představu o řídicí části vozidla jsem si sehnal volant ze Škody Octavie, pro kterou jsem zkonstruoval nosnou část, aby uchycení volantu odpovídalo reálnému stavu na vozidle. Provedené uchycení umožňuje plnou stavitelnost volantu. Horní část této konstrukce jsem navrhl a zkonstruoval tak, aby ji bylo možné použít k montáži dalších elektronických prvků.

Provedení senzorů jsem navrhl v programu 3D Invertor jako soustavu řemenného převodu s možností stavitelným uložením magnetu na otočnou část soustavy. Tyto prvky byly vyrobeny na 3D tiskárně ve dvojím vyhotovení. Jeden prvek jsem použil pro snímání otáček volantu a druhý pro snímání natáčení nápravy. Pro uchycení těchto částí jsem vysoustružil nosné hřídele, na kterých se můžou ozubená kola plynule otáčet, bez použití kluzných či jiných ložisek. V případě sebemenšího odchýlení od osy by došlo ke ztrátě kontaktu čipu s magnetem a tím i ke ztrátě signálu polohy natočení. Pro senzory jsem navrhl plošný spoj v programu Eagle, který jsem zkonstruoval osvětlovací metodou. SMD prvky jsem připájel pomocí pájecí pasty a zapečením v pájecí peci. Ostatní součástky a vodiče jsem zapájel pomocí mikro pájky.

Pro ovládání soustavy jsem jako řídicí jednotku vybral MCU ATmega16, pro kterou jsem sestrojil plošný spoj, který mi umožňuje využít mnoho jejich vstupně výstupních portů. Před návrhem této desky bylo velmi důležité stanovit potřebné vstupy a výstupy. Program pro toto AVR jsem vytvořil v programu AtmelStudio.

Pro ovládání motoru jsem původně navrhl zakoupit obousměrný usměrňovač napětí s řízením 0-5V. Konečné řešení jsem nakonec realizoval sestrojením vlastního H-můstku. H-můstek jsem navrhl a vytvořil s drivery TC4428, které mi umožňovaly řídit MOSFET tranzistory s kanály N i P. Na H-můstku byly použity dva drivery s jedním negovaným výstupem pro řízení MOSFET tranzistoru s kanálem P a jedním přímým výstupem pro spínání tranzistorů s kanálem N. Bohužel tato varianta nevydržela jeden nesprávně provedený test, proto jsem sestavil model s driverem TC4427, který byl na rozdíl TC4428 skaldem. Tato varianta má opačné spínání tranzistorů s kanálem P, schéma zapojení zůstalo stejné pro obě varianty driverů. Pro ochranu výkonové části H-můstku jsem umístil před napájecí vstup 12VDC ultrarychlou pojistku.

V této bakalářské práci jsem se seznámil s problematikami souvisejícími se systémem řízení nápravy vozidla a způsobem řízení drive by wire. Při konstruování plošných spojů jsem si osvojil práci v programu Eagle, ve kterém jsem navrhl všechny plošné spoje. Naučil jsem se vyrábět plošné spoje osvitovou metodou ve školní laboratoři a jejich pájení pomocí pájecí pece. K vytvoření programu řízení ATmega16 jsem se naučil programovat v AtmelStudios, pro nahrávání programu jsem používal příkazový řádek. Z důvodů výroby mnoha mechanických spojů a součástí jsem byl nucen zvládnout základní práci se soustruhem, vrtání a broušení bylo pro mě samozřejmostí. Jen složitou úpravu nábojů pružné spojky a svařování CO technikou jsem svěřil do rukou profesionála.

Toto téma bylo velmi obsáhlé a vyžadovalo mnoho znalostí jak v oboru elektrických pohonů, měřicí a řídicí techniky, programování, kreslení a modelování strojních komponentů, tak i mechanické zručnosti.

8. Použitá literatura

- [1] VINKLÁŘ, Michal. *Technické vybavení pro „Drive-by-wire“*. Praha, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Jiří Novák.
- [2] BENEŠ, Radek. *Technické vybavení pro drive-by-wire*. Praha, 2009. Bakalářská práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Jan Malinský.
- [3] BEAUBIEN, Daniel, Ryan GERMAIN a Véronique MILLETTE. Steer-by-Wire: Modification of Vehicle Handling Characteristics. *Steer-By-Wire for Vehicle State Estimation and Control* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: www.site.uottawa.ca/~rhabash/RyanGermain.ppt
- [4] KOPECKÝ, Václav. *Steer by wire pro řízení kol na více nápravách*. Pardubice, 2009. Diplomová práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Jan Pokorný.
- [5] NEBORÁK, Ivo a Václav SLÁDEČEK. *ELEKTRICKÉ POHONY: pro kombinované a distanční studium* [online]. Ostrava, 2001, 2004 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://fei1.vsb.cz/kat430/old/Studium/Materialy/EP/ELEKTRICKE%20POHONY%201.pdf>. Skriptum. Fakulta elektrotechniky a informatiky VŠB – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Doc. Ing. Ivo Neborák, CSc
- [6] VLČEK. *Moderní elektronika*. Zlín, 2008. Výuková publikace. SPŠE.
- [7] SROVNAL, Vilém. *KYBERNETIKA* [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://akela.mendelu.cz/~xzahrad6/TKY/Kybernetika.pdf>. Skriptum. Vysoká škola báňská - TUO.
- [8] RLS: *associate company* [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.rls.si/>
- [9] Transmissive Optical Sensor with Phototransistor Output. *TCST110. up to TCST230*. [online]. 1999 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: www.vishay.com
- [10] Renishaw: Apply Inovation. *Renishaw* [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/1030.aspx>
- [11] Průvodce nabídkou produktů. *Megatron* [online]. 2011 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.megatron.cz/download/katalogy/pruvodce-nabidkou-produktu-rotalin.pdf>
- [12] *Micro-epsilon* [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.micro-epsilon.cz/>
- [13] *Atmel* [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/>
- [14] *KING RIGHT: MOTOR CO., LTD.* [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.kingright.com.tw/>
- [15] *Transmotec* [online]. 2008 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.transmotec.cz>
- [16] Raveo: world of motion. *Raveo e-shop* [online]. [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.motory-prevodovky.cz/>

[17] Motory a jejich řízení s MCU: rady a poslední novinky z oboru. *Automatizace.hw.cz* [online]. 1997 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/motory-jejich-řízení-s-mcu-2-cast-spinaci-mustky-jejich-připojení-k-mcu>

[18] *BEL: Internetový obchod* [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.bel-shop.eu/>

[19] *Haberkorn* [online]. [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: <http://www.haberkorn.cz/>

9. Přílohy

| | |
|----------------------|--|
| PŘÍLOHA I. | Měření síly motoru na řídicí soustavě vozidla |
| PŘÍLOHA II. | Měření dynamiky motoru na řídicí soustavě vozidla |
| PŘÍLOHA III. | Plošný spoj ATmega16 |
| PŘÍLOHA IV. | Program řízení |
| PŘÍLOHA V. | Plošný spoj AM4096 |
| PŘÍLOHA VI. | Model uchycení čipů |
| PŘÍLOHA VII. | Plošný spoj H-můstek |
| PŘÍLOHA VIII. | Výkres spojení pohonu |
| PŘÍLOHA IX. | Výkres hřídele uchycení senzoru |